

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ISIL İŞLEMİN KONVANSİYONEL CAMIN MEKANİK
DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NEVZAT ERTÜRK

BOLU, 2019

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**ISIL İŞLEMİN KONVANSİYONEL CAMIN MEKANİK
DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NEVZAT ERTÜRK

BOLU, MAYIS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Nevzat ERTÜRK tarafından hazırlanan “ISIL İŞLEMİN KONVANSİYONEL CAMIN MEKANİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 9.07.2019 tarihinde savunularak **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Murat PAKDİL
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Emine ÇINAR YENİ
Dokuz Eylül Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza

.....

.....

.....

Prof. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme,

5 yıllık mutlu birlikteliğimizde hayatın tüm zorluklarını beraber göğüslediğim, evliliğimizden bu yana yüksek lisans programına katılmam için beni teşvik eden, cesaretlendiren tez döneminde yanımda olan manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Sema ERTÜRK' e, öte yandan tezimin hazırlanmasında, deney aşamasında ondan çaldığım zamanı sabırla ve anlayışla karşılayan canım oğlum Çağlar Ege Ertürk' e şükranlarımı borç bilirim.



ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nevzat ERTÜRK

ÖZET

**ISIL İŞLEMİN KONVANSİYONEL CAMIN MEKANİK DAVRANIŞI
ÜZERİNE ETKİLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NEVZAT ERTÜRK
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR.MURAT PAKDİL)**

BOLU, MAYIS - 2019

Cam günümüzde, inşaat, otomotiv, enerji, beyaz eşya, gıda, meşrubat, ilaç, kozmetik, turizm, mobilya, boru, elektrik ve elektronik gibi birçok sektöre giren önemli bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Camın hayatımıza bu denli girişi de, camın iç yapısal özelliklerini araştırmamızda büyük etken olmuştur. Kuvvet altında elastik şekil değiştirmenin ölçüsü olan elastisite modülü ise bu nedenle büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, camların temperleme prosesinden sonra iç yapısında meydana gelen değişiklikler, kırılmaya karşı gösterdikleri dirençler ve farklı türdeki camların mekanik özelliklerinin temper prosesinden sonra elastisite modüllerindeki değişimler deneysel yöntemlerle hesaplanarak gösterildi.

Camlara, elektromekanik yüklemeli 3 nokta bükme test cihazında kuvvetin ilk uygulanmaya başladığı andan kırılma anına kadar olan süreç içerisinde cihaz üzerindeki sehim değerleri ve uygulanan kuvvet değerleri cihazın veri tabanından alınarak timoshenko denkleminde yerine koyuldu. Elastisite değerlerinde değişiklik olmadığı gözlemlendi.

ANAHTAR KELİMELELER: Elastisite modülü, İç yapı, Temperleme prosesi, Emniyet camı, 3 nokta eğme

ABSTRACT

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MECHANICAL BEHAVIOR OF CONVENTIONAL GLASS

MSC THESIS

NEVZAT ERTÜRK

**BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC.PROF.DR.MURAT PAKDİL)**

BOLU, MAY 2019

In today's world, glass confronts us as an important construction material including a lot of industries such as building, automotive, white goods, energy, food, drinks, drugs, cosmetics, tourism, furniture, pipes, electrical and electronics.

Glass captures so many places in our lives and that's why it is attempted to research its internal structural features in this study. Elastic modulus, which is a measure of the change of shape under force, is also important here.

In this study, it is aimed to see the constructional changes of the glasses after the tempering process, their breakings and strengths and the changes of their elastic modules in different structures, by counting experimental methods.

Deflection values and applied force values on the device are taken from the device database and put in the timoshenko equation while within the period from the first application of force to the moment of breaking. This test was done with electromechanical loading 3 points test device. No variability was observed in elasticity values.

KEYWORDS: Elastic modulus, internal structure, Tempering process, Safety glass, Bending threepoint

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. CAM	2
2.1 Camın Tanımı.....	2
2.2 Camın Genel Tarihi	2
2.3 Camın Yapısı	4
2.3.1 Camı Oluşturan Ana Maddeler	7
2.4 Camın Özellikleri	8
2.4.1 Fiziksel Özellikler.....	8
2.4.2 Optik Özellikler	10
2.4.3 Isıl Özellikler	10
2.4.4 Kimyasal Özellikler	10
2.4.5 Mekanik Özellikler	11
3. CAM ÜRETİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	12
3.1 Üfleme (Şişirme) Yöntemi	12
3.2 Dökme-Silindirme Yöntemi	13
3.3 Çekme Yöntemi.....	13
3.4 Float (Yüzdürme) Yöntemi	14
3.5 Savurma Yöntemi.....	14
4. KULLANIM ALANLARINA GÖRE CAM ÇEŞİTLERİ	16
4.1 Güvenlik Camları	16
4.2 Yansıtıcı (reflektif) Camlar	16
4.3 Kaplamalı Camlar.....	16
4.4 Düşük Emisiviteli (low-e) Camlar	17
4.5 Ayna	17
4.6 Emniyet Camları.....	17
4.7 Lamine Camlar	18
4.8 Temperli Camlar.....	18
4.8.1 Temperli Camın Tanımı.....	19
4.8.2 Cam Temperleme İşlemi.....	20
4.8.3 Camın Genel Dayanım Özellikleri	20
4.8.3.1 Temperli Camın Mukavemeti.....	21

4.8.3.2	Camı Isıtmak	22
4.8.3.3	Camda Gerilim Oluşturmak.....	23
4.8.4	Temperli Camların Kullanım Alanları.....	24
4.8.5	Temperli Cam Kırılma Testi.....	24
4.8.6	Temperli Cam ile Tempersiz Cam Arasında ki Farklar (Cam Temperlendiğinde Camda Neler Oluyor ?)	26
4.8.7	Temperleme Prosesi Öncesi Camların Hazırlanması	26
5.	KIRILMA MEKANİĞİ	29
5.1	Atomik Düzeyde Elastisite Modülünün Hesaplanması.....	29
5.1.1	Kimyasal Bağ.....	31
5.1.2	Elastisite Modülü	32
5.2	Timeshenko Kirişler Yönteminin Yapı Malzemelerinde Kullanımı ..	33
5.3	Timeshenko Kirişler Yöntemi İle Camların Kırılma Mekanizmasının İncelenmesi.....	35
5.3.1	Bir Kiriş Üzerinde Yoğunlaşan Kuvvet.....	35
6.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	40
6.1	Deneyin Amacı.....	40
6.2	Deneyde Kullanılan Malzemeler	40
6.3	Deneyin Aşamaları	41
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	49
8.	KAYNAKLAR.....	51
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Murano Cam Sanatı (TOBB, 2012).....	2
Şekil 2.2. Filistin kıyılarında soda taşıyan bir geminin mola vermesi ile tesadüf eseri camın bulunmasını anlatan minyatür (ortakcicam, 2015).....	4
Şekil 2.3. Camlaşabilen bir malzemenin hacim sıcaklık grafiği (Günay 2010).	5
Şekil 2.4. SiO ₂ ' nin Kristal Yapısı (Rawson, 1980).	6
Şekil 2.5. SiO ₂ ' nin Amorf Yapısı (Rawson, 1980).....	6
Şekil 2.6. Camların viskosite eğrisi (Toydemir 1990).....	9
Şekil 2.7. Elastik bölgede gevrek kırılma grafiği (Özdemir).....	11
Şekil 3.1. Şişirme yöntemi ile cam üretimi (Taşören vd.,2015).	12
Şekil 3.2. Dökme silindirme yöntemi ile cam üretimi (Kantur, 2009).	13
Şekil 3.3. Çekme yöntemi ile cam çekimi (Kantur, 2009).....	13
Şekil 3.4. Yüzdürme yöntemi ile cam üretimi (Kantur, 2009).	14
Şekil 3.5. Savurma yöntemi ile cam üretimi (Köselerden, 2015).....	15
Şekil 4.1. Bükülmeye dayanım (Barr, 2005).	21
Şekil 4.2. Isıtma eğrisi (Barr, 2005).....	22
Şekil 4.3. Temperli camda gerilim dağılımı (Barr, 2005).....	23
Şekil 4.4. Temperli camın yan kesit görünüşü (Barr, 2005).....	24
Şekil 4.5. Kırma deneyi için numune camın kırılma noktası (Uzun kenarın ortasında 13 mm içeri) (Ungan, 2015).....	25
Şekil 4.6. Cam parçacığı sayımının hariç tutulduğu bölge (Taranmış alan) (Ungan, 2015)	25
Şekil 4.7. Temperli cam (Kırılma Görüntüsü) (Ungan, 2015).....	26
Şekil 4.8. Cam üretim proses şeması	26
Şekil 5.1. Çekme ve itme kuvveti için detay (Gavgalı vd., 2015).	29
Şekil 5.2. Sıcaklığın İyonlar arası mesafeye etkisi (Gavgalı vd., 2015).....	30
Şekil 5.3. Meydana gelen elastik şekil değiştirme ve uygulanan gerilme ilişkisi..	32
Şekil 5.4. Üç noktalı statik bükmenin yapısal modeli (Andre, vd.).....	34
Şekil 5.5. Yuvarlak Ahşap Parçaların 3 nokta eğme testi görüntüsü (Andre, vd.)	35
Şekil 5.6. Kiriş üzerine kuvvet uygulaması (Timoshenko, 1951).....	35
Şekil 5.7. Radyal dağılan kuvvet aksiyonları (Timoshenko, 1951).....	36
Şekil 6.1. Deney test numunesi.....	40
Şekil 6.2. ELISTA Marka EMB 400-400 kN model çekme cihazının görüntüsü .	41
Şekil 6.3. Kesim prosesine ait görüntüler	42
Şekil 6.4. Rodaj ve temper prosesine ait görüntüler	42
Şekil 6.5. Deney numunelerinin paketlenmesi ve gruplanması.....	43
Şekil 6.6. Deneysel çalışma esnasında numunenin cihaza bağlanması verilerin alınması ve eldi edilen verilere ait tabloların oluşturulmasına ait görüntüler	43
Şekil 6.7. Örnek deneye ait yük-uzama grafiği.....	44
Şekil 6.8. Örnek numune cama ait ölçü değerleri	45
Şekil 7.1. Farklı yapısal bileşenlere sahip camların elastisite modüllerinde ki farklılıklar (Barr, 2005).....	49

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Cam Üretiminde Genel Olarak Kullanılan Hammadde, Metal ve Metal Oksitler (Mills, 1975).....	7
Tablo 4.1. Cam kalınlığına göre minimum parça sayısı tablosu (Barr, 2005)	25
Tablo 6.1. Üç nokta eğme test numuneleri ölçüleri.....	40
Tablo 6.2. Örnek deneye ait yük, deformasyon ve süre değerleri	44
Tablo 6.3. Örnek numuneye ait ölçüm değerleri	45
Tablo 6.4. Farklı cam türlerine göre elastisite modül hesabı.....	46



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
Π	: Pi Sayısı
°C	: Derece
°K	: Kelvin
A	: Alan
AKÜ	: AfyoKocatepeÜniversitesi
Al₂O₃	: Aliminyum Oksit
As₂O₃	: Arsenik Trioksit
B₂O₃	: Bor Oksit
BaO	: Baryum Oksit
BaSO₄	: Barit
CaO	: Kalsiyum Oksit
DEÜ	: Dokuz Eylül Üniversitesi
dk	: Dakika
E	: Elastisite Modülü
Ebağ	: Bağ Enerjisi
H₂	: Hidrojen
I	: Atalet Momenti
K₂O	: Potasyum Oksit
KN	: Kilonewton
KNO₃	: Potasyum Nitrat
Li₂O	: Lityum Oksit
M.Ö	: Milattan Önce
MgO	: Magnezyum Oksit
Mm	: Milimetre
MnO₂	: Magnezyum Dioksit
Mpa	: Megapascal
N	: Newton
Na₂O	: Sodyum Oksit
Na₂SO₄	: Sülfür
P	: Basınç

P2O5	: Fosfor Pentaoksit
PbO	: Kurşun Oksit
PSİ	: Basınç Değeri
PVB	: Polivinil Bütiral
S	: Saniye
Se	: Selenyum
SiO2	: Silisyum Oksit
SO3	: Kükürt Trioksit
Uv	: Ultravirole
ZnO	: Çinko Oksit
γ	: Poisson oranı



TEŞEKKÜR

Sayın Doç. Dr. Murat PAKDİL' e araştırma boyunca anlayış ve rehberliği için en derin teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Cam Merkezi A.Ş Yorglass Bolu İşletmesi değerli yöneticileri ve çalışma arkadaşlarıma teknik desteklerini benden esirgemedikleri için, özellikle görüş ve düşünceleri ile beni aydınlatan Ali ÖZER' e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca tez süresince deney numunelerini hazırlamamda yardımcı olan Cam Merkezi A. Ş Yorglass Bolu İşletmesi kesim hattı çalışma arkadaşlarıma desteklerinden ötürü şükranlarımı belirtmek isterim.



1. GİRİŞ

Çağımızda camın kullanımı geçmişe oranla oldukça fazla artmıştır. Bu artışa, camın saydam, mukavemetli ve estetik görüntüsünün neden olduğunu söyleyebiliriz.

Cam günlük yaşamımızın her alanında kullanılmaktadır. Genellikle otomotiv, mimari ve optik sanayide en önemli tamamlayıcı malzemedir. Camın bu sektörlerin ihtiyacına cevap verebilmesi onun güvenilirliğine, mukavemetine ve çalışma şartlarına uyum sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Örnek olarak bir evde cam olmadan yaşamak güç olur, bir araba da cam olmadan arabayı kullanmak imkânsız hale gelir. Laboratuvarlarda yapılan deneyler de kullanılan deney tüplerinin sıcaklığa dayanması, uçaklarda kullanılan camların basınca dayanacak kadar mukavemetli oluşu gibi etkenlerden dolayı camın alternatifi olmaması daha kullanışlı daha dayanıklı ve güvenli camlar yapmaya insanoğlunu teşvik etmiştir (Nazik, 2004).

Camların kullanılma esnasında kırılması toplumun cam karşısında yaşadığı bir problemdir. Teknolojinin gelişmesi ve camın her alanda kullanılmaya başlanması, günümüzde daha önce ki zamanlara göre daha fazla problem yaratmaktadır çünkü sahip olduğumuz karmaşık ve tehlikeli yapılar bu duruma davetiye çıkarmaktadır. Örneğin uçak, uzay teknolojileri, gökdelenlerin yüksek katları nedeniyle rüzgara maruz kalması vb. Çağımızda kırılma mekaniği ile ilgili gelişmeler camların kırılması ile ilgili problemlerin bir kısmına çözüm olmuştur. Özellikle 2. Dünya savaşından sonra yapılan hasar analizi çalışmaları günümüze de ışık tutmaya devam etmektedir (Özdemir, 2006).

Bu çalışmada yapı, endüstri, beyaz eşya üretiminde yan ürün olarak kullanılan yapı camları üzerinde durulacak, temperlenen camların mekanik özelliklerindeki değişimler, kırılmaya karşı yapılan deneysel çalışmalar ile tespit edilmeye çalışılacaktır.

2. CAM

2.1 Camın Tanımı

Cam, bazı metal oksitlerin ve ısıtılmış alkali metallerin birleşimine SiO_2 ilavesi ile oluşan kırılğan, sert, saydam bir malzemedir. Oluşum esnasında akışkan bir madde olan cam katılaşma esnasında amorf yapı oluşturur. Amorf yapı nedeniyle de cam sağlamlaşır ve saydam özellik kazanır. Camın birleşimindeki en önemli madde SiO_2 ' dir (Wikipedia, 2015).

Cam yapı bileşenleri sayesinde asidik ve bazik ortamlarda dayanıklılık gösterir. Ayrıca ışığı geçirme özelliği sayesinde diğer yüzeylerdeki malzemeleri görmemizi sağlar. Evlerimizin vazgeçilmezi olan camın kullanım yerlerine göre belli bir mukavemeti olmalıdır.



Şekil 2.1. Murano Cam Sanatı (TOBB, 2012).

2.2 Camın Genel Tarihi

Yüzyıllardır cam endüstriyel malzemelerden süs eşyalarına, aydınlanma araç gereçlerinden mutfak eşyalarına kadar insanlığın vazgeçilmezi olmuştur.

Çağımızdan yıllarca önce yapısal camlar henüz keşfedilmemiş iken volkanik parça olan obsidiyenden insanlar kendilerini savunmak için kesici ve delici aletler yapmışlardır. Obsidiyen kırılğan, sert bir malzeme olup aynı sertlikte bir malzeme ile vurulduğunda ya da sert bir zemine düştüğünde kolay kırılmakta, kırılan yüzeyler aynı camdaki gibi keskin kenarlar bırakmaktadır. Çağımızda camların yapısal özellikleri değiştirilerek cam kalitesi , kullanım alanları değişim göstermiştir (Yazar vd., 2013).

Tarihte camın ilk kullanımı antik çağlara dayanır. Net olarak hangi tarihte kullanılmaya başladığı bilinmemekle birlikte M.Ö 2000' li yıllarda Mısır boncuklarında kullanıldığı araştırmalar sonucunda saptanmıştır. Camın modern anlamda ilk kullanımı Ptolemaic dönemde İskenderiye' de ve Roma medeniyetlerinde kullanıldığı tespit edilmiştir (Wikipedia, 2015).

İlk çağlarda düz cam üretim tekniklerinin bilinmemesi nedeniyle, cam ürünleri şişirme yöntemi ya da kalıba dökme yöntemi ile 3 boyutlu nesnelere olmuştur. İlk olarak mücevher, vazo, heykel gibi malzemeler üretilmiştir. Teknoloji geliştikçe düz cam üretim yöntemleri geliştiğinden camlar hayatın her alanında kullanılmaya başlanmıştır.

Tabaka cam üretimi ilk kez romalılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Düz bir yüzey üzerinde eriyik camı dökerek ve buradan alınan dairesel kesitlerle tabaka cam üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak üretim yöntemleri günümüz teknolojisinden çok uzak olduğu için düz, parlak bir yüzey elde edememişlerdir. Romalılar camın ışığı tüm dalga boyları ile içeri aldığını ancak ışığın dışarı kaçışının ışık geçirgenliğinden çok daha az olduğunu algılamaları neticesinde ısı kayıplarını önlemek için hamamlarda , termal alanlarda camı kullanmaya başlamışlardır.

Camın ilk kullanımında fonksiyonel yani geçirgen özelliğinden yararlanılmıştır. Günümüz teknolojisinde de cam üzerindeki cazibenin en başlıca sebebi geçirgen bir malzeme olmasıdır. Bunu sert, sağlam, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dirençli olması izlemektedir (Türkseven, 1999).

Romalı tarihçilere göre ise camın icadı tamamen tesadüfidir. Soda ticareti yapan gemilerin mola vermesi esnasında soda ve kumun kamp ateşi ile ergimesi sonucu cam bulunmuştur (Yazar vd., 2013).



Şekil 2.2. Filistin kıyılarında soda taşıyan bir geminin mola vermesi ile tesadüf eseri camın bulunmasını anlatan minyatür (ortakcicam, 2015).

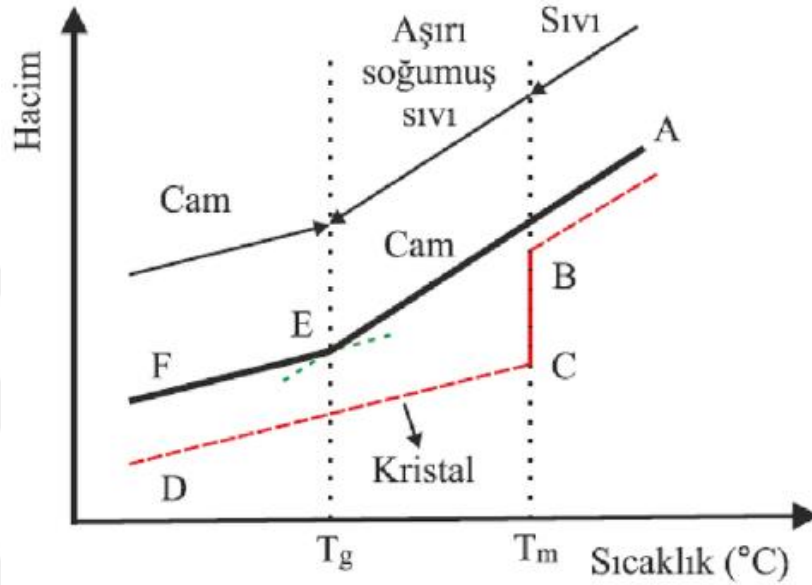
2.3 Camın Yapısı

Camlar katı görüntülerine rağmen fiziksel olarak hareket etmektedirler. Ancak cam atomlarının hareketlerini sıkışık bir trafikte yerine ulaşılamayan canlılar gibi bir benzetmede bulunmak oldukça yerindedir. Rotaları sıkışıklık nedeniyle engellendiği için gidecekleri yere ulaşamazlar (Lloyd, 2015).

Bilim adamlarına göre camlar sert ve katı bir madde olmasına rağmen aslında hiçbir zaman tamamen katı bir madde haline gelemmez. Bunu eski binalara baktığımızda çok kolay bir şekilde anlamak mümkündür. Eski binaların camları sıvı benzeri bir yapıda görünür ve yer çekiminin de etkisiyle akmadan dolayı şekli bozukluğu, form bozuklukları kolayca görülebilir (Lloyd, 2015).

Soda, kireç taşı, kum gibi doğada oldukça fazla bulunan malzemeler belli oranlarda karıştırılarak cam üretimi yapılır. Mimari cam, şişe yapmakta kullanılan bu camlara soda kireç camı da denmektedir (Kantur, 2009).

Camlar amorf katı haldedir, camların soğuması ile viskozitesinde sürekli bir artış olur. Sıvı halden amorf katı hale geçişte camlar kristallenme ve farklı fazlara geçiş gibi süreksizlik göstermez. Şekil 2.3’ de sıvı, kristal ve camsı hal arasındaki ilişkilerin fiziksel özellikler (hacim) ile değişim grafiği görülmektedir.



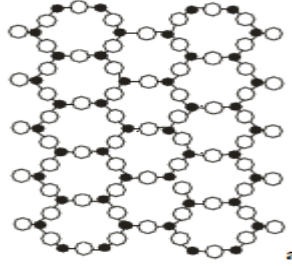
Şekil 2.3. Camlaşabilen bir malzemenin hacim sıcaklık grafiği (Günay 2010)

Şekil 2.3’ deki grafikte görüldüğü üzere, camlar eriyik cam halinden soğuma esnasında iki farklı davranış gösterir. Birinci durumda yavaş soğuma görülür ve cam atomlarının yayınması için yeterli zaman olduğundan cam atomları düzgün bir yapı oluşturur. Kristal hal denilen bu durumda kristalleşme sonucu sıkı bir katılaşma görüldüğünden ani hacim düşüşü olur (Jones, 1971).

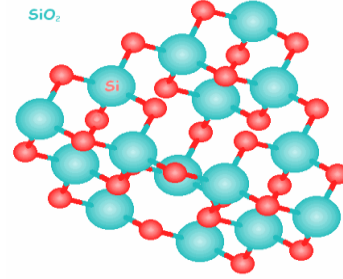
İkinci durumda ise ani bir sıcaklık düşüşü görüldüğünden cam atomlarının düzenli bir yayılım göstermesine imkan yoktur. Cam atomları sıvı fazdan katı faza geçişte yayınma yapamadığı için ani soğumanın etkisiyle buldukları pozisyonlarda donarlar. Bu durum amorf hale geçişe neden olur (Jones, 1971).

Camlar geçiş sıcaklığında (E Noktası) amorf yapıli polimerlerde görüldüğü gibi viskoelasik yapıdadır. Viskosite, geçiş sıcaklığında çok yüksek olup 10^{13} Poise

civarındadır. E noktası soğuma hızına bağlı olduğundan sabit bir değer değil bir aralık olarak tanımlanır (Wikipedia.org).



Şekil 2.4. SiO₂'nin Kristal Yapısı (Rawson, 1980).



Şekil 2.5. SiO₂'nin Amorf Yapısı (Rawson, 1980).

Cisimlerin gerilme altında zamanla deformasyona uğramasını inceleyen bilim dalına Reoloji denir. Malzeme türü ayırt etmeksizin her malzeme gerilme ile şekil değişikliğine uğrar. Reoloji bilim dalı katıların zamana bağlı deformasyonu ve sıvılarda görülen akış özelliklerini inceler. Her malzeme dış kuvvet olmasa da deformasyona uğrar. Bu sıvılarda kolay bir şekilde görülür ancak katı cisimlerde deformasyon miktarı ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Buna kanıt olarak 5-10 asırlık binalarda kullanılmış camların akma neticesinde alt kısımlarının kalınlaştığı görülmektedir (Pamuk).

Akmaya karşı cisimlerin gösterdiği dirence viskozite denir. Camlarda akma ile meydana gelen şekil değişikliği farklı türdeki camlarda farklı hızlarda görülmektedir. Malzemelerde yaşanan şekil değişimi viskoziteye, uygulanan gerilmenin yönü ve şiddetine bağlı olarak değişir. Elastik davranış ise cisimlere uygulanan bası kuvveti kaldırıldığında cisim ilk haline dönmesidir (Pamuk).

Viskoelastik davranış cisimlerin aynı anda viskoz ve elastik davranış göstermesidir. Viskoz davranışın zamana bağlı olmasına karşın elastik davranış zamandan bağımsızdır. Bu nedenle karşımıza iki etkinin toplamı olan viskoelastik davranış zamana bağlı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Pamuk).

2.3.1 Camı Oluşturan Ana Maddeler

Cam üretiminde silika (SiO_2), Kireç (CaO) ve Soda (Na_2O) kullanılır. Silis kumunun düşük sıcaklıktaki bir ortamda erimesine soda (Na_2O) yardımcı olur. Camın görünüş kalitesinde ise doğrudan kireç (CaO) etkilidir (Mills, 1975).

Cam yapıcı ana bileşen olarak Silika (SiO_2) doğada oldukça fazla bulunan ve işlenebilirliği kolay olan kuvars, kumtaşı, kuvarsit, pegmatit, hidrotermal kuvars gibi maddelerden elde edilir. Bu maddelerden silika (SiO_2) elde edilebilmesi için içinde en az %95 oranında silika olması gerekmektedir. Jeolojik oluşumlar neticesinde meydana gelen bu maddeler belli ayrıştırılmalar sonucunda kolaylıkla silika (SiO_2) olarak kullanılır (Mills, 1975).

Camda istediğimiz fiziksel özelliklerin meydana gelebilmesi için Silikasoda-Kireç karışımında belli oranlarda metal oksitler ilave edilir. Örneğin; Parlak ve saydan bir yüzey elde etmek için Kurşun ilavesi yapılır. Cama mavi renk vermek için Kobalt, sarı renk vermek için Demir, Siyah renk vermek için Manganez, Yeşilimsi sarımtırak renk vermek için Uranyum oksit ilavesi yapılır. Isıya karşı (örneğin; şömine camları üretimi) dayanıklı cam üretmek için Borasilikat kullanılır (Pyrex).

Önemli hammadde, metal oksitlerin ve metallerin listesi aşağıda Tablo 2.1' de verilmiştir (Mills, 1975).

Tablo 2.1. Cam Üretiminde Genel Olarak Kullanılan Hammadde, Metal ve Metal Oksitler (Mills, 1975).

Hammadde	Bileşimdeki Önemli Elementler
Kuvars Kumu	SiO_2
Soda	Na_2O
Kireç	CaO
Dolomit	$\text{CaO}+\text{MgO}$
Feldspar, Siyenit, Aplit	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}$
Boraks, Razor it	B_2O_3
Tuz Keki	SO_3
Flor	F_2
Arsenik	As_2O_3
Barit	BaSO_4
Selenyum	Se

- Camlaşma özelliği olan ve ağ oluşturan başlıca oksitler; SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5
- Başlıca eriticiler; Na_2O , K_2O , Li_2O
- Başlıca stabilizörler; CaO , BaO , PbO , MgO ve ZnO
- Ayrıca;
- Camın rengini açmak için MnO_2 , renk vermek için As_2O_3 , Redükleyici olarak Na_2SO_4 , Camın saydamlığını gidermek için KNO_3 kullanılır (Wikipedia, 2015)

2.4 Camın Özellikleri

2.4.1 Fiziksel Özellikleri

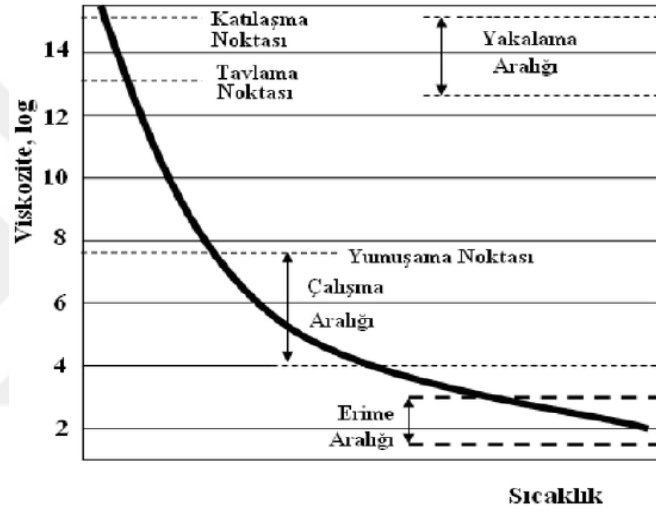
Kullanılan bileşenlerin çeşitlerine ve kullanım oranlarına göre değişiklik gösteren yoğunluk camlarda en belirgin özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Camların yoğunlukları $2,2 \text{ g/cm}^3$ ile $3,0 \text{ g/cm}^3$ arasındaki değerlerde olup bu değerler günlük yaşantımızda kullanılan camlarda görülmektedir. Fakat farklı kullanım amacına göre tasarlanmış camların yoğunlukları $8,0 \text{ g/cm}^3$ 'e kadar çıkabilmektedir (Tosun, 2018). İstisnalar arasında $2,12 \text{ g/cm}^3$ özkütleyle sahip borasilikat camları ve $2,18 \text{ g/cm}^3$ özkütleyle sahip silika esaslı camlar vardır. Camların yoğunluğunun artmasında en yüksek etkiye sahip olan cam bileşimindeki oksitler sırasıyla ZnO , BaO ve PbO 'dur (Kocabağ, 2002).

Camların sertliği aşınmaya ve delinmeye karşı direnç gösteren bir özelliktir. Sertliğin ölçülmesinde kullanılan en önemli ölçme yöntemi Mohs' a göre kıyaslama yöntemidir. Bu sisteme göre daha sert malzemeler camı çizirken, sertliği daha düşük malzemeler cam tarafından çizilmektedir (Kocabağ, 2002).

Camların aşınmaya karşı dirençli olduğu Mohs skalasında görülmektedir. Sertlik değeri 6 ile 7 arasında değişir. Mimaride kullanılan pencere camlarında Mohs sertlik değeri 5,5 olup normalden biraz daha düşüktür (Tosun, 2018).

Camlarda aşınma dayanımı camın bileşimindeki kullanılan oksitlere bağlıdır. SiO₂ ve B₂O₃ sertliği artırıcı etki gösterirken, Na₂O, CaO ve bilhassa PbO sertliği düşürücü etki göstermektedir (Kocabağ, 2002).

Akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olarak bilinen viskozite ergimiş camın şekil değiştirmesinde önemli faktörlerdendir. Viskozite yüksek olduğunda akışkanlık fazladır. Eriyik camlar her sıcaklık değerinde farklı viskoz değerler gösterir. İstedığımız şekilde camları şekillendirmek için viskozite değerini bilmemiz gerekir. Şekil 2.6' da ki grafikte sıcaklığa bağlı olarak viskozite eğrisi verilmektedir (Sarıkaya 1988).



Şekil 2.6. Camların viskozite eğrisi (Toydemir 1990).

- **Birim Hacim Ağırlığı(Yoğunluk):** Mimari camlarda kullanılan camların yoğunluğu 2.5-2.7 gr/cm³'tür.
- **Sertlik:** Sertlik seviyesi 6-7' dir. Bu seviyede ki sertlik cama iyi bir aşınma direnci kazandırır.
- **Lineer Dilatasyon Katsayısı:** 8.7x10⁻⁶ dır. Bu değer pencere doğrama malzemesi ve cam malzemesi arasındaki ilişki yönünden önemli bir değerdir.
- **Isınma ısısı:** 795 J/kg/°C dir.
- **Isı Geçirgenlik Katsayısı:** 1.16W/m/°C dir.
- **Kırılma İndisi:** Adi camda 1.52 olan kırılma indisi, kristal camda 1,60 tr.
- **Yumuşama Sıcaklığı:** 500-600°C (AKÜ, 2015).
- **Elastisite Modülü:** 45-100 GPa (DEÜ, 2015).

2.4.2 Optik Özellikler

Saydam camlara bakıldığında arka tarafındaki nesnelere görülebilmektedir. Bu tarz camlar saydam cam olarak adlandırılır. Camın geçirgenliğinin yüksek olması saydamlığıyla orantılıdır. Camlar ışık geçirdiği halde nesnelere net olarak görülemezse bu tür camlara yarı saydam cam denmektedir. Yansıma ışığın cam üzerinden geri dönmesine denmektedir. Yansıtma özelliği kazandırılan camlar genellikle aynalar ve dekoratif camlardır. Cam tarafından emilen ışık önemli bir optik özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Yansımanın kısmi olarak yaşandığı durumlarda ışınların bir kısmı karşı tarafa geçmiş olup geri kalan kısmı ise cam tarafından emilmiştir. Camlarda görülen bu yansıma, ışın kırılması özellikleri sayesinde günümüzde optik alet üretimlerinde oldukça fazla gelişme kaydedilmiştir (Nazik, 2004).

2.4.3 Isıl Özellikler

Camlar iyi bir iletken değildir. Özellikle mimari yapılarda camlara ısı iletme özelliği kazandırmak için cam elyaf yünü ve aralarında hava boşluğu yaratılarak çift kat cam uygulama yöntemleri bulunmaktadır. Her iki durumda da camlara izolasyon özelliği veren, camların arasında yaratılan hava boşluklarıdır. Özellikle çift katlı camlarda camların bir tarafları aşırı ısıya maruz kalırsa uzama eğiliminde olacağından cam kırılmaları görülebilmektedir (Kantur 2009).

2.4.4 Kimyasal Özellikler

Camlar birçok maddeyle kimyasal reaksiyon girmediği için oldukça dayanıklıdır. Sadece bazı alkali çözeltiler ve hidroflorik asit camlarla tepkimeye girebilmektedir. Cam yüzeylerin işlenirken yüzey matlaştırma hidroflorik asit kullanılmaktadır. Suyun doğrudan cam ile temas etmesiyle herhangi bir reaksiyon yaşanmamaktadır. Ancak su uzun sürelerde cam yüzeyleri etkileyebilmektedir. Camların su karşısında kararlı bir yapıda olabilmesi için cam bileşenlerine kireç katılması zorunludur. Cam bileşenleri arasında kalsiyum karbonat katılmamış olan camlar su karşısında kararlı olamaz (DEÜ, 2015).

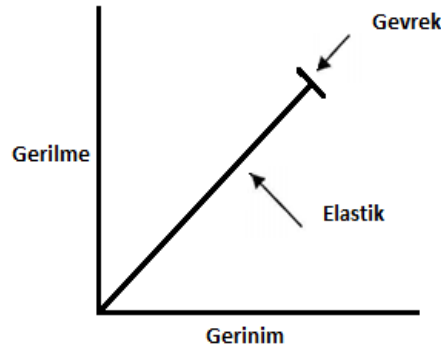
2.4.5 Mekanik Özellikler

Camların basınç ya da darbeler karşısında göstereceği direnç önemli bir mekanik özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer önemli bir özellik camların şekil değiştirmeye, esnemeye karşı gösterdiği dirençtir. (Şeklini muhafaza etme eğilimi). Camların kolay kırılmasının temelindeki sebep cam yüzeylerinde oluşan çiziklerdir. Kırılma dayanımlarını artırmak için cam yüzeylerinin aşınma ve çizilmeye karşı yeterli seviyede dirençli olması gerekmektedir (Nazik, 2004).

Camlar gevrek yapıdadır. Darbeler ve şekil değişikliklerine karşı dayanıklı değildir. Buna karşın basınç dayanımları da kat ve kat fazladır. Çekme ve basınç dayanımları arasında ki fark neredeyse 20 kattır. Camların elastisite modülleri, poisson oranları, çekme dayanımları, basınç dayanımları mekanik özellik olarak incelenmesi gereken önemli özelliklerdir (DEÜ, 2015).

- Camların Çekme Dayanımları: 20-90 MPa
- Camların Basınç Dayanımları: 500-900 MPa
- Camların Elastisite Modülleri: 45000-100000 MPa
- Camların Poisson Oranı: 0,22 'dir (DEÜ, 2015) .

Kuvvetli bağ yapısına sahip olan camların kayma düzlemi sayısı az olduğu için dislokasyon yapıları karmaşıktır. Sert ve kırılğan yapıdadırlar (Canikoğlu, 2015). Bundan dolayı camlarda elastik bölgede gevrek kırılmalar görülür. Şekil 2.7



Şekil 2.7. Elastik bölgede gevrek kırılma grafiği (Özdemir).

3. CAM ÜRETİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Üfleme (Şişirme) Yöntemi

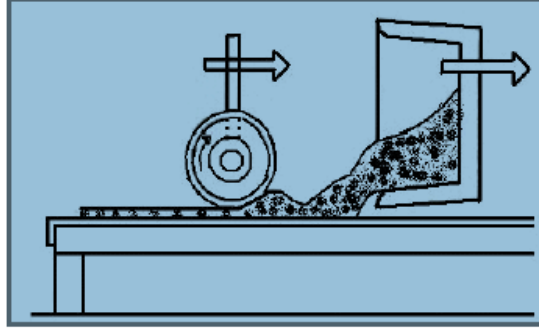


Şekil 3.1. Şişirme yöntemi ile cam üretimi (Taşören vd.,2015).

Üfleme yöntemiyle cam üretiminde içi boş olan bir çubuğun ucuna eriyik cam yerleştirilir. Şişirme yöntemiyle bir miktar şişirilir ve cam küresel bir hale getirilir. Daha sonra çatlamayacak kadar hafif soğutma işlemi gerçekleştirilir. İçi boş çubuğun ucuna tekrar eriyik cam madeni alınır ve daha önceden vermek istediğimiz şekle göre hazırlanmış kalıbın içerisine kalıptan bir miktar küçük boyutlu olarak cam şişirme işlemi yapılır ve kalıbın içerisine sokulur. Şişirme işlemine ve aynı zamanda soğutma işlemine devam edilerek camın kalıbın şeklinin alması ve kalıp üzerindeki desenlerin oluşması sağlanır. Eğer kalıp kullanılmayarak şişirme yöntemi ile cam üretimi gerçekleştirilecekse sallama, uzatma yöntemleri ile cama şekil verilebilir. Değişik aparatlar yardımıyla da bu yöntemle istenen şekillerde cam üretimi gerçekleştirilebilir (Wikipedia, 2015).

3.2 Dökme-Silindirme Yöntemi

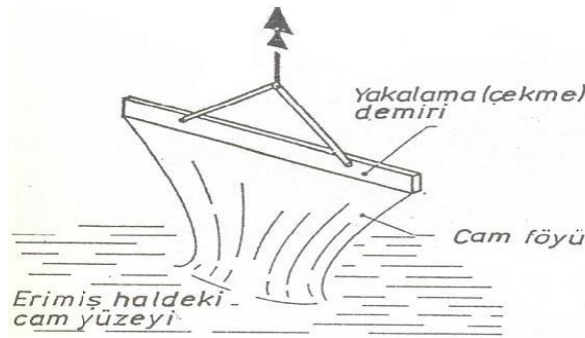
Presleme yöntemi ile cam üretiminde daha önceden istenen şekle göre hazırlanmış kalıpların içerisine fonga denilen ucunda küresel şekilde hazırlanmış bir çubuk vasıtasıyla eriyik maden alınıp kalıp içerisine bırakılır. Soğutma işlemi ile beraber eriyik camın üzerine presleme işlemi yapılarak istenen kalıp şekli elde edilmiş olur (Taşören vd., 2015).



Şekil 3.2. Dökme silindirme yöntemi ile cam üretimi (Kantur, 2009).

3.3 Çekme Yöntemi

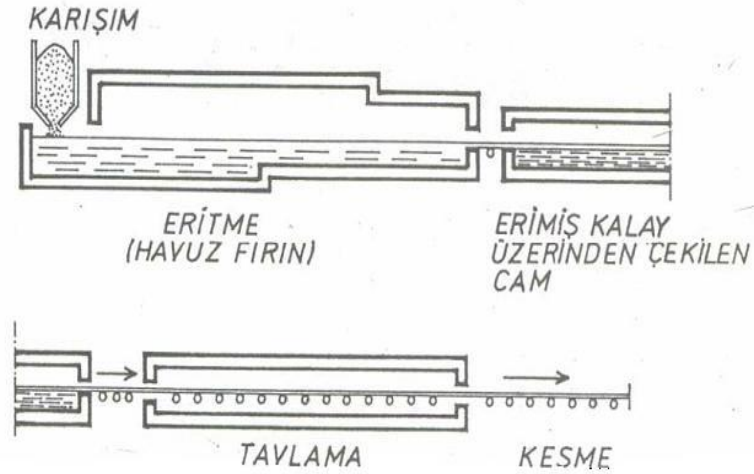
Günümüzde kullanılan yöntemlerden biri olan çekme yöntemi ile cam üretmek, eriyik cam hamurunun üstüne bir lama demiri atılması ve demir lamaya iki maddenin birbirine bağlanması yöntemi ile yapışan cam eriyiğin kohezyon kuvvetiyle bir perde gibi yukarı çekilmesi esasına dayanmaktadır (Kantur, 2009).



Şekil 3.3. Çekme yöntemi ile cam çekimi (Kantur, 2009).

3.4 Float (Yüzdürme) Yöntemi

Günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan bu yöntem ile birbirine paralel cam levhaları kolaylıkla üretilmektedir. Cam yüzey kalitesi oldukça iyi olan bu yöntemde daha sonradan herhangi bir yüzey parlatma veya benzeri bir kalitesel düzeltme işlemine gerek kalmamaktadır. İlk kez 1960' lı yıllarda İngiltere' de kullanılan bu yöntem sayesinde daha kaliteli ve daha nitelikli camlar üretilmeye başlanmıştır. Havuz benzeri fırınlarda eritilen ana bileşenler yatay olarak çekildikten sonra içinde kalay bulunan bir havuz çerçesine yatırılır. Eriyik cam bileşeni kalaydan daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu için yüzeyde adete yüzer. Kalayın üzerinden tekrar yüzdürülerek çekilen cam levha tekrar bir ısıtma işlemine tabi tutulduktan sonra istenen levha boyutlarında kesme işlemi gerçekleştirilerek cam üretimi tamamlanmış olur (Kantur, 2009).



Şekil 3.4. Yüzdürme yöntemi ile cam üretimi (Kantur, 2009).

3.5 Savurma Yöntemi

Özellikle cam şişe, vazo, bardak gibi genellikle silindirik desenli camların üretilmesinde kullanılan bu yöntemde santrifüj kuvvetinin etkisinden faydalanılmaktadır. Ortalama olarak 500-900 devirlerde döndürülmeye uygun tezgahlardaki kalıplar içerisine eriyik cam bileşeni yerleştirilir ve döndürme

kuvvetinin etkisiyle cam bileşeni dışa doğru hareket eder soğutma işlemi ile birlikte bulunduğu kabın şeklini alır (Wikipedia, 2015).



Şekil 3.5. Savurma yöntemi ile cam üretimi (Köselerden, 2015)



4. KULLANIM ALANLARINA GÖRE CAM ÇEŞİTLERİ

4.1 Güvenlik Camları

Hayatımızın her alanında bulunan camların kırıldığı zaman ortaya çıkabilecek risklerini minimum seviyelere düşürmek için bilim insanları oldukça fazla çaba sarfetmektedir.

Günümüzde üretilen camlar daha zor kırılmakta ve kırıldığı zaman yaralanmaların en az seviyeye ineceği şekilde küçük parçacıklar halinde kırılmaktadır. Güvenlik camları genel olarak temperli ve lamine camlar olarak üretilmektedir (Mağgönül , 1993; Ritche, 1998).

4.2 Yansıtıcı (reflektif) Camlar

Yansıtıcı (reflektif) cam üretimleri, üretim esnasında ya da üretimden sonra cam plaka yüzeylerine metal veya metal oksit kaplaması ile yapılır. Bu sayede cam yüzeylere yansıtıcılık özelliği kazandırılmış olur. Yansıtıcı camların dezavantajı; yüzeyleri metal veya metal oksit kaplı yüzey tabakanın ortamdaki diğer bileşenler ile tepkimeye girerek korozyona uğraması sorunudur. Çeşitli metal oksitlerin cam yüzeyine uygulanması ile mekanik ve kimyasal direnci yüksek yansıtıcı camlar üretilir. Çeşitli metal ve metal oksitlerin cam yüzeyine kaplanması ile mekanik ve kimyasal dirençleri yüksek yansıtıcı camlar üretilmektedir (Eşsiz, 2004).

4.3 Kaplamalı Camlar

Cam kaplamaları genellikle 6 ve 9 katmanlı olarak yapılır. Farklı özellikteki malzemelerde kaplama kalınlıkları, ışık geçirimleri de farklılık gösterir. Low-e kaplamalar genel olarak ısının yüksek olduğu cihazlarda ısı levhalarını biçimlendirmede kullanılmaktadır. Yansımaları azaltmak için iyi bir iletken olan

metal tabakalar tercih edilmektedir. Günümüzde daha çok görsellik ve yüksek ışık geçirgenliği nedeniyle gümüş esaslı kaplamalar tercih edilir hale gelmiştir. Yüksek yansıtıcı kaplamalar, güneş ışığının kırılmasını ve ışık geçirgenliğinin az olmasını istediğimiz ortamlarda kullanılır. Bu ortamlarda metal oksit ya da metal kaplamalar kullanılmaktadır (Compagno, 2000).

4.4 Düşük Emissiviteli (low-e) Camlar

Löw-e camlar esasen düz cam türüdür. Löw-e adını cam yüzeyindeki kaplamadan almaktadır. Camlar löw-e kaplama sayesinde uzun dalga boyundaki radyasyonun yansıtılması özelliğini kazanır. Bu sayede bu camlar evlerimizde, oda içerisinde gündüz ve gece ışıklarını emen eşyaların, duvarların, araç gereçlerin yaydığı infrared bölgedeki radyasyonun tümünü geri yansıtarak ortamdaki ısı kayıplarını engelleyerek odanın sıcaklığının düşmesini engeller (Ritche, 1998; Saraç, 1991).

4.5 Ayna

Ayna yapımı en eski kaplama türlerinden biridir. Cam yüzeye metal tuzu püskürtülür ve yüzeyde çözelti indirgenmesi sağlanır. Bu çözeltiler uygun sıcaklıkta ısıtılarak cam yüzeye tatbik edilir. Aynaların mimari, dekorasyon, mobilya, otomotiv alanlarında kullanılan geniş bir yelpazesi vardır. Ayrıca günümüzde de bakır ve kurşun olmadan, çevre dostu, yansıtma özelliğinden taviz verilmeden ayna üretimleri yapılmaya başlanılmıştır (Ekti, 2013).

4.6 Emniyet Camları

Emniyet camları üretiminde, cam malzeme ergime noktasına kadar düzenli bir şekilde ısıtılır. İstenen şekle göre uygun aletlerle şekillendirme işlemi yapılarak üzerine üflenen soğuk hava ile düzenli bir şekilde soğutulur. Bu sayede cam yüzeyleri normalden çok daha fazla darbelere, kırılmalara karşı dayanıklılık kazanır. Kırıldığında da dağılma özelliği ortadan kalkar. Bu sayede emniyet camı özelliği

kazanır. Emniyet camları üretim yöntemlerine göre temperli ve lamine kaplama yöntemi olmak üzere iki şekilde olur (Ekti, 2013).

4.7 Lamine camlar

Bu tür camlar genellikle güvenlik amacıyla üretilmekte olup, iki veya daha fazla katmanın aralarında polivinil bütiral (PVB) veya benzeri bir plastik malzeme ile bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Farklı amaçlara yönelik, farklı kalınlıklardaki camların, farklı bağlama malzemeleriyle bir araya getirilmesi ile çok çeşitli lamine camlar üretilmektedir. Böylece kırılmaya, patlamaya, darbelere ve hatta mermiye karşı dayanıklı, çeşitli düzeylerde performans gösteren lamine camlar üretilmektedir. İç katmanda bir dizi farklı malzeme kullanılabilir. Bunlar saydam, renkli, dokulu film tabakaları olabildiği gibi ısı yalıtımlı, UV filtreli veya yansıtıcı film tabakaları da olabilmektedir (Yeang, 1996; Sev. 2003).

Lamine camlar genellikle mimaride oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Cam katmanlarının arasına polivinil bütiral (PVB) ya da cam katmanlarının PVB benzeri bir malzeme ile bir araya getirilmesi ile lamine cam üretimi yapılır. Yapılarda kullanım amacına göre camların farklı katman yapılarına ve bağlayıcı özelliğine göre üretilen lamine camlar vardır. Böylelikle kırılma, patlama darbe, kurşun geçirmez özelliği kazandırılan Lamine camlar endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Cam katmanları arasında bağlayıcı olarak birçok farklı özellikte yalıtım, UV filtrasyon, yansıtma özelliği, istenilen renk ve saydam film tabakasına sahip lamine cam üretimleri yapılabilmektedir (Yeang, 1996; Sev. 2003).

4.8 Temperli Camlar

Temperleme işlemi bir bant üzerinde ilerleyen camların ergime noktasına kadar ısıtılarak (620 °C - 645 °C) ani soğutulması esasına dayanır. Bu sayede camlara emniyet camı özelliği kazandırılır. Kırılmalara, basınca, ısıya karşı daha dayanıklı hale gelen camlar kırıldıklarında da pul pul dağıldığı için insan hayatına zarar vermeyecek hale getirilir. Kullanım alanlarına göre Otomotiv, inşaat ve beyaz eşya

sektörlerinde kullanılacak camlar için farklı temperleme yöntemleri geliştirilir. Örneğin beyaz eşya sektöründe kullanılan camlara ergime noktasına kadar ısıtıldığında doğrudan ani soğutma işlemi yapılırken, otomotiv sektöründe kullanılan bombeli camlar, yumuşama noktasında şekillendirildikten sonra soğutma işlemi yapılmaktadır (Ekti, 2013) (Compagno, 2000), (Sev, A. ve Özgen,2003).

Temperleme işlemi sonucunda cam üzerinde delme, kesme, rodajlama işlemleri yapılmamalıdır. Bu hata cam patlamalarına neden olur (Urgan 2015).

4.8.1 Temperli Camın Tanımı

Camların kırıldıkları zaman çevreye zarar vermeyeceği bir şekilde dönüşmesi, kırıldığında pul pul dağılarak kesiklere neden olmaması için cam üzerinde yapılan ısıtılma işlemi “cam temperleme” denmektedir. Homojen olarak 700 derece sıcaklığa sahip bir fırın içerisinde camların konveyör vasıtasıyla beslenmesi ve fırın çıkışında ani soğutulması işlemidir.

Sertleştirilmiş cam, çok düşük gerilmelere sahiptir, bu nedenle bir tarafı ya da yüzeyi çekmeye maruz kalınca kırılmaktadır. Cam temperlendiğinde, dış kısımlar basma, camın merkezi ise çekme etkisi altındadır. Dış kısmının basma altına alınmasıyla, cam sertleşir ve içteki daha yumuşak cam alanı kırılmalara karşı, sert bir kabuk şeklinde korumaya alır. Temperlenmiş camı kırmak için, uygulanacak bükme kuvvetinin dış yüzeydeki basma kuvvetinin üstesinden gelmesi, ya da dış yüzeyin delinmesi gereklidir. Temperlenmiş camın temperlenmemiş cama göre mukavemeti 5 kat fazladır. Ayrıca camlar temperleme prosesinden sonra basınç, darbe ve ısıtılma kırılmalara karşı esneklik kazanır.

Temperli camlar kırıldığında, küçük yuvarlatılmış parçacıklar meydana geldiği için güvenlik camı olarak kullanıma daha uygundur. Bu parçacıklar, genellikle küçük, keskin ve tehlikeli kenarlara sahip olmayan bir şekildedir.

Temperli camlar üzerine delik delme, küçük parçalara ayırma için kesme işlemi yapılmamalıdır. Aksi halde patlayacaktır. Temperleme işlemi esnasında “kamburluk”, “dönüklük” gibi istenmeyen distorsiyonlar kaçınılmaz

olabilmektedir. Bu yüzden temper esnasında cam üzerine optimum hava ve sıcaklık verilmesi distorsiyonları azaltıcı etki yapacaktır.

Isıl sertleştirme ve temperleme arasındaki genel fark, ısıl sertleştirilmiş cam 4000-6500 psi arası yüzey basmasına sahiptir. Kırıldığında büyük boyutlu kırık parçacıklar meydana gelir. Temperlenmiş cam ise 10,000 psi üzeri yüzey basmasına sahip olup kırıldığında ise daha küçük kırık parçacıkları görülür. Dış cam yüzeyi ne kadar hızlı soğutulursa ve merkez sıcaklık ne kadar sıcak kalırsa; yüzey basması o kadar yüksek olur, kırılma esnasında parçacıklar da o oranda küçük olur (Tütünoğlu vd., 2011).

4.8.2 Cam Temperleme İşlemi

- Camlar ortalama 700 °C (Ergime sıcaklığı)' ye kadar ısıtılır.
- Verilecek şekle göre yüzey hazırlanır, düz cam, bombeli cam vb.
- Cam alt ve üstten eşit sıcaklıklarda olacak şekilde soğutulur.
- Ani soğutma bölümünde sıcaklıklar düşene kadar soğutmaya devam edilir.

Sıcaklık Değerleri;

- Cam sıcaklık değeri şekil alma sıcaklık değerinden fazla olmalıdır (550 °C).
- Cam sıcaklık değeri ergime noktasından az olmalıdır (700 °C).

Fırın içerisinde Hareket ;

- Camlar fırın içerisinde düz hareket etmeli.
- Fırın içerisinde enerji verimliliği için ısı kayıplarına dikkat edilmeli.

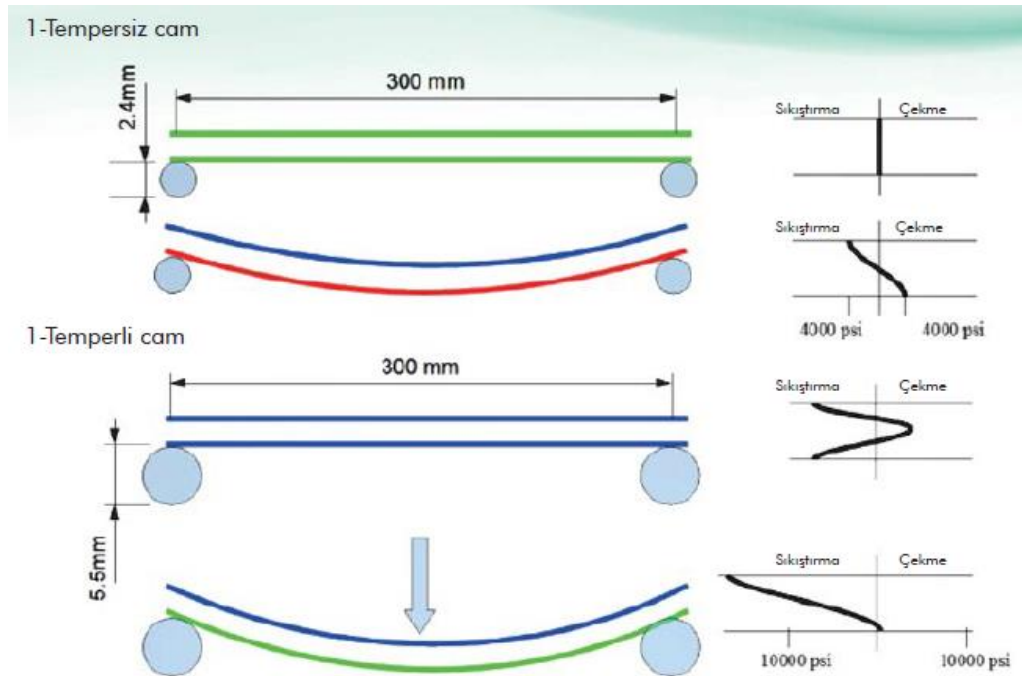
4.8.3 Camın Genel Dayanım Özellikleri

Ham düz camların sıkıştırma mukavemeti 1000 MPa üzerinde olup baskı altında çok dayanıklıdırlar. Camları bası yoluyla sıkıştırmak neredeyse imkansızdır. Mikro çatlaklar bulundurmayan, pürüzsüz bir yüzeye sahip camların çekme

mukavemeti 1000 MPa üzerindedir. Ancak camlar günlük hayatta çekme gerilimlerine karşı oldukça dayanıksızdır. 15-25 MPa arasındaki değerlerde kolayca kırılma eğilimindedirler. Bu durumun başlıca nedeni çekme etkisinde, cam yüzeylerinde bulunan mikro ölçekteki çatlakların merkez noktaya doğru hızlı bir şekilde ilerlemesidir (Ungan, 2015).

4.8.3.1 Temperli Camın Mukavemeti

Bükme testleri camların mukavemetini ölçmemizde kullanılan deneysel yöntemlerin başında gelmektedir. 90 MPa kuvvete dayanması beklenen mimari camlar için 4 nokta bükme testi vardır. Şekil 4.1’ de boy ölçüsü 30 cm olan, temperlenmemiş bir camın 2,4 mm sehim yapabilmesi için uygulanması gereken baskı kuvveti 27 MPa ‘dır. Bu kuvvet camın kırılması için yeterli olmuştur. Temperlenmiş camların ise 5.5 mm sehim yapabilmelerinin sebebi yüzey sıkıştırma gerilimlerine zaten sahip olmalarıdır. Baskı kuvvetinin etkisiyle yapmış olduğu 5.5 mm derinliğindeki sehimde bile yüzey sıkıştırma gerilimi sıfıra iner ve camlarda kırılma görülmez (Barr, 2005).



Şekil 4.1. Bükülmeye dayanım (Barr, 2005).

Temperli camların bükülmeye karşı kazanmış olduğu dayanım daha fazladır. Bunun sebebi temperli camların dış kısımlarındaki basınç geriliminin ve iç yüzeylerindeki çekme geriliminin daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla dış cephelerde, araba camlarında, uçaklarda rüzgara karşı dayanım için temperli camlar tercih edilmektedir. Camların sıcaklığı arttığında gerilim farkları oluşacaktır. Temperli cam ısındığında yüzeyler genleşmeye çalışacağı için yüzeydeki gerilim azalacaktır. Bu nedenle temperli camlar sıcaklıklara karşı daha dayanıklıdır (Barr, 2005).

4.8.3.2 Camı Isıtma

Camların temperlenmesi esnasında ısınma hızı, temper fırını sıcaklığı ile camların başlangıç sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yani cam 625 °C sıcaklığında ki temper fırınına girmeden önce cam sıcaklığı ile fırın sıcaklığı arasındaki fark fazla olduğu için başlangıçta ısı transfer hızı fazla olmasına karşın cam fırın içerisinde hareket ederken ısı farkı azalacağından ısı transfer hızında da azalma olacaktır. Camların temper fırınında ısınma hızı grafiği aşağıdaki gibi olur (Grafik 6.1) (Barr, 2005).



Şekil 4.2. Isıtma eğrisi (Barr, 2005).

Örnek verecek olursak ;

700 °C ‘ ye ısıtılmış bir temper fırınında herhangi bir kalınlıktaki camın sıcaklığının 625 °C olması için zaman sabiti değeri 2,2 dir.

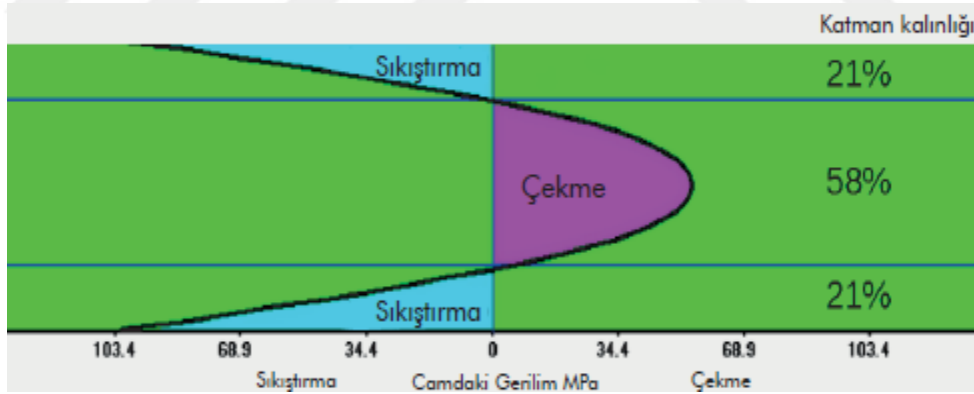
Eğer, 4 mm kalınlığında bir düz cam temperleme işlemi yapılıyorsa (düz camlar için kullanılan genel radyant temper fırını zaman sabiti değeri 17,6 dir) ısıtma zamanı = 2,22 x 4 x 17,6 = 156 sn ‘dir.

10mm kalınlık için ısıtma zamanı = 2,22 x 10 x 17,6 = 390 sn ‘dir (Barr, 2005).

4.8.3.3 Camda Gerilim Oluşturmak

Camlarda temperleme sonucu gerilim farkı oluşmasının nedeni camın yüzeyi ve merkezinin farklı hızda soğumasıdır (Ungan, 2015).

Ergime noktasına kadar ısıtılmış bir cam ani soğutma bölgesine girdiğinde yüksek basınçta hava ile soğutulunca üst yüzeylerde sıkıştırma gerilmesi, daha sonra soğuyan merkez noktalarda ise çekme gerilmesi oluşur (Ungan, 2015).



Şekil 4.3. Temperli camda gerilim dağılımı (Barr, 2005).

Şekil 4.3‘ de görüldüğü üzere temper fırınında temperlenmiş bir cam parçasına enkesitten bakıldığında gerilim farkı olan bölgeler kolaylıkla görülmektedir. Cam kalınlığının 1/6’sı kadar bir bölgede sıkıştırma gerilimi gözlenmektedir. Sıkıştırma bölgesi mikro çatlak barındırmayan neredeyse kusursuz bir yüzeydir. Bu yüzden temperli camlar, normal camların kırılması için yetecek gerilmelerin çok daha fazlasına dayanabilmektedir. Ancak cam merkez noktasında, gerilim bölgesinde bir

nikel sülfid parçacığı, hava boşluğu ya da mikro çatlak görülür ise çok küçük çekme kuvvetleri bile temperli camın kırılmasına yeterli olacaktır (Barr, 2005).



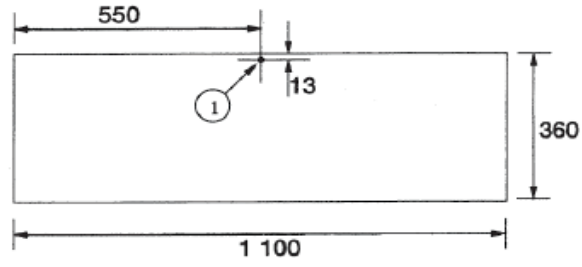
Şekil 4.4 Temperli camın yan kesit görünüşü (Barr, 2005).

4.8.4 Temperli Camların Kullanım Alanları

- Dış cepheli yapılarda,
- Araç camlarında,
- Bina asansörlerinde,
- Şöminelerde,
- Alışveriş merkezi mağaza vitrinlerinde,
- Mutfak masa, sehparında,
- Beyaz eşyalarda (Buzdolabı, fırın vb.) (BMTRADA, 2015).

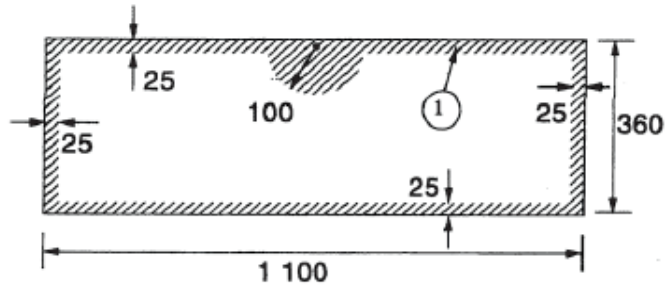
4.8.5 Temperli Cam Kırılma Testi

TS EN 12150-1 ‘‘Temperlenmiş soda-kireç-silikat bileşenlerinden oluşmuş emniyet camı ‘’ standardına göre camın kırılma deneyi Şekil 6.3’ te görüldüğü gibi yapılır ve değerlendirilir. Test numunesi aşağıda Şekil 4.5’ te 1 numara ile gösterilen noktadan sivri bir cisim ile vurularak kırılır:



Şekil 4.5. Kırma deneyi için numune camın kırılma noktası (Uzun kenarın ortasında 13 mm içeri) (Ungan, 2015).

Cam kırma işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4.6' da görüldüğü gibi taralı olarak gösterilen bölgeler değerlendirme dışında bırakılır.



Şekil 4.6. Cam parçacığı sayımının hariç tutulduğu bölge (Taranmış alan) (Ungan, 2015).

İç kenar ölçüleri 5 cm x 5 cm ölçüsünde olan bir kare master hazırlanır. Cam üzerinde kırık cam parçalarının en büyüğünün görüldüğü bölge üzerinde 25 cm² 'lik bir kare şekil çizilir. Ardından çizilen bu kare içerisindeki tüm cam parçacıkları tek tek işaretlenerek adet sayılır. Kare çerçeve çizgisi ile temas eden tüm çam kırıkları ½ parça olarak kabul edilir. Emniyetli bir cam olarak kabul edilebilmesi için minimum parça sayısına aşağıda görüldüğü gibi Tablo 4.1' e göre karar verilir.

Tablo 4.1. Cam kalınlığına göre minimum parça sayısı tablosu (Barr, 2005).

Cam Tipi	Anma Kalınlığı (d) mm	En Az Parça Sayısı
Float ve Çekme Düz Cam	3	15
	4 – 12	40
	15 – 19	30
Desenli	4 – 10	30



Şekil 4.7. Temperli cam (Kırılma Görüntüsü) (Ungan).

Çekme geriliminin en yoğun olduğu bölge olan camın merkez noktasında bir çatlak olduğunda camdaki gerilim bir şok dalgası yayar. Çatlama noktasından yayılan bu dalga boyunun hızı 3387 metre/sn' dir. Camın her yanı neredeyse aynı zamanda kırıldığı için bu duruma camın patlaması denmektedir (Ungan, 2015).

4.8.6 Temperli Cam ile Tempersiz Cam Arasındaki Farklar (Cam Temperlendiğinde Camda Neler Oluyor?)

Temperleme esnasında camların tüm yüzeyleri, kenar ve köşeleri sıkışır. Camların iş kısımları ise yüksek bir çekme gerilimine maruz kalır. İç ve dış kuvvetler dengelenmiş olur. Camların iç kısmındaki çekme kuvvetleri nedeniyle camın mukavemeti 5 kat artar. Kenar kısımlarda her hangi bir çatlak, kırık, habbe olması durumunda zamanla kenar kısımlara ilerleye gerilme kuvvetleri nedeniyle camda ani kırılmalar meydana gelebilir (Ungan, 2015).

4.8.7 Temperleme Prosesi Öncesi Camların Hazırlanması

Camların temper prosesi sonrasında istenilen kalitede olması için, temper prosesi öncesindeki aşamalar oldukça önemlidir. Aşağıda Şekil 4.8' de cam üretim proses şeması görünmektedir.



Şekil 4.8. Cam üretim proses şeması

1. Camın iyi kenar işlemesine sahip olması gerekir;

- Kötü kenarlar veya talaşlar, soğuma esnasında kırılmalara sebep olur. Kesim prosesinde çapaklı camlar ayrılmalıdır. Pürüzlü kenarlar ve talaşlar, yüzeyi kırabilecek küçük hata çizgileri gibi davranır ve kenarlarda basma oluşturarak soğuma esnasında camın patlamasına neden olur.
- Bazı durumlarda, camdaki kenar işleminin iyi olmadığı ve camın soğuma döngüsünde kırılma gerçekleşmediği zaman, cam ilerleyen süreçlerde, nakliye işleminden sonra kırılabilir.
- Delinmiş deliklerin veya diğer şekilli kenarların düzgün şekilde zımparalanması gereklidir. Delinen delikler, kenarlara delinen deliğin çapının yarısından daha yakın olmamalıdır.

2. Camın temiz olması gerekir;

- Cam ısıtılırken seramik merdaneler üzerinde hareket eder. Cam ısındıkça yüzey yumuşamaya başlar. Camın üzerindeki yabancı parçacıklar, cama veya merdanelere gömülebilir. Bu yabancı parçacıklar camın yüzey kalitesini düşürür. Aynı zamanda, soğuma döngüsü esnasında bu parçacıklar küçük krater davranışı kazanarak ve yüzeydeki basmayı kırarak, camın kırılmasına neden olur.
- Seramik merdaneler pahalı olmaları sebebiyle, temiz ve kırıntısız bir şekilde bulundurulmalıdır. Özellikle baskı prosesi esnasında camın alt kısmına boya geçmemesine özen gösterilmelidir. Fırına yabancı parçacıkların girmesi, bu parçacıkların merdane yüzeyinde yer etmesine ve merdaneye zarar vermesine neden olur. Bu durum, camların zarar görmesi, cam kalitesinin azalması ve verimin düşmesiyle sonuçlanır.
- Fırın sıcaklığı, 760 °C kadar sıcak olabilir. Bu sıcaklıklarda birçok yabancı parçacık kristalleşerek veya sertleşerek merdane yüzeyine bağlanır. Merdane

temizlendiğinde, bu parçacıklarla beraber bir miktar seramik de sökülerek, merdane yüzeyinde boşluklar oluşur. Yabancı maddelerin bu boşluklarda birikmesiyle oluşan küçük lekeler cam yüzeyinde geri dönüşü olmayan izlere neden olur.

3. Yükleme masası ve fırın merdaneleri temiz olmalıdır;

- Daha önce sıralanan nedenlerden dolayı, temiz bir cam elde edebilmek için, merdanelerin de temiz olması önemlidir.
- Yükleme merdaneleri çapaksız olmalıdır.

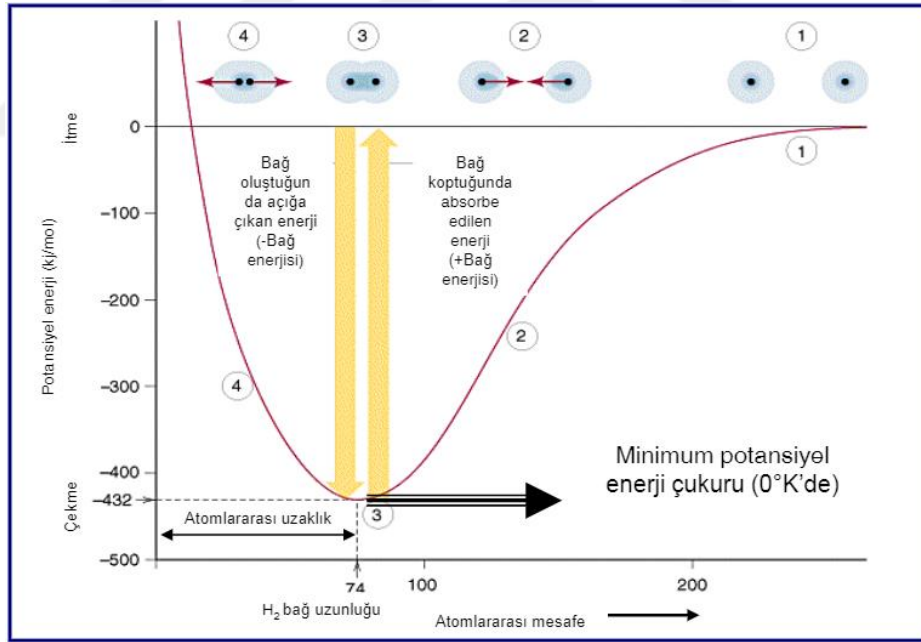


5. KIRILMA MEKANİĞİ

Camın katılaşması sırasında silikatların düzensiz bir şekilde birleşik oluşturmamasından dolayı camlar şekil değiştiremez. Şekil değiştirmek istendiğinde çatlak oluşacak ve bu çatlağı engelleyecek ya da yavaşlatacak engeller olmadığı için gevrek kırılma görülür (DEÜ, 2015).

5.1 Atomik Düzeyde Elastisite Modülünün Hesaplanması

Atomlar arası itme ve çekme olayları neticesinde cam atomları birbiri ile sürekli etkileşim halindedir.



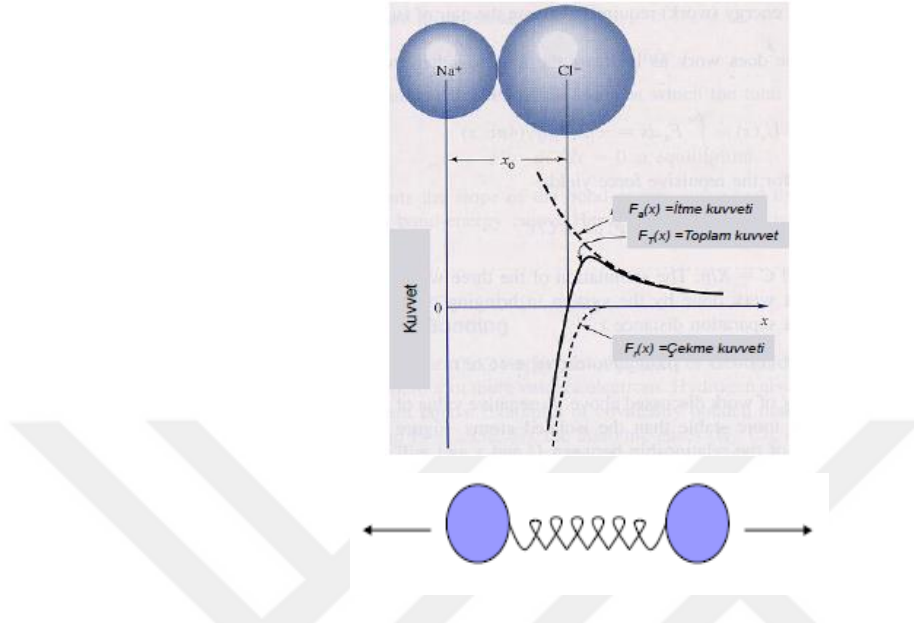
Şekil 5.1. Çekme ve itme kuvveti için detay (Gavgalı vd., 2015).

Nötr durumda atomlarının net elektriksel yükleri sıfır olup elektron ve proton sayıları aynıdır. Atomlar birbirleri arasında elektron alışverişi sayesinde yüklü konuma geçebilirler. Coloumb kuvveti böylelikle oluşur.

$$dw = Fdx$$

$$W = \int_0^x F dx$$

$$0^\circ K' de \dots F = \frac{dW}{dx} = 0 \rightarrow DENG E \quad (5.1) \text{ (Gavgalı vd., 2015).}$$



Şekil 5.2. Sıcaklığın iyonlar arası mesafeye etkisi (Gavgalı vd., 2015).

Şekil 5.2' de görüldüğü üzere sıcaklık artışına bağlı olarak X_0 mesafesinin yeri değişir. X_0 mesafesinin en küçük olduğu sıcaklık değeri $0^\circ K$ ' dir. Çekme kuvveti soğuk şekillendirme derecesini açıklar. Çekme kuvvetinin etkisiyle iyonların mesafesi X ile $1/X$ arasında iken; itme kuvveti $1/X^m$ şeklinde değişir ($m=10$)' dur. Netice itibariyle elektrostatik çekme kuvvetinden daha hızlı artış gösteren itme kuvveti iyonlar arasındaki mesafenin küçülmesinden kaynaklanır (Gavgalı vd., 2015).

Potansiyel enerjinin sıfır olması sonsuz mesafe uzaklıktaki cam atomlarının birbirlerine karşı gösterdikleri çekme ve itme tepkisinden kaynaklanır. Herhangi bir nedenden dolayı bu atomlar birbirlerine yaklaştırılırsa atomlar arası çekme etkisi meydana gelecek ve kinetik enerji artış gösterirken potansiyel enerji düşüş gösterecektir.

Atomlar arası mesafe küçüldükçe, bu defa itme kuvveti oluşur. Çekme ve itme kuvvetleri aynı olduğunda, yani bileşke kuvvet sıfır olduğunda atomların denge

haline geldiği bir an görülür. Bu duruma atomlar arası denge mesafesi denir. Denge haline gelen atomlar çeşitli bağlar oluştururlar.

Enerji diyagramında $FT = 0$ hali $\frac{dE}{dr} = 0$ haline karşılık gelir.

Diğer bir deyişle iki atomdan meydana gelen etkileşimin potansiyel enerjisi en düşük seviyededir. Çekme, kinetik enerji ile ilgili olup kimyasal enerjinin fiziksel anlamıdır. İtme ise kısa mesafelerde meydana gelir ve atomlar arası dengenin görülmesini sağlar (Gavgalı vd., 2015).

Denge konumunda potansiyel enerji en düşük seviyededir. Atomlar arası mesafe yani potansiyel enerji;

- Bağ yapısı ve enerjisine bağlıdır.
- Sıcaklığa bağlıdır. (0°K'de atomlar statik, potansiyel enerji en düşük seviyededir).
- Atomun hangi iyon halinde bulunduğuna bağlıdır.
- Atomların kristal yapısına yani dizilişine bağlıdır. (Gavgalı vd., 2015).

Dar ve derin enerji havuzu elastisite modülünün yüksek olmasına bağlıdır. Elastisite modülünün yüksekliği de ergime sıcaklığının yüksek ve düşük genleşme katsayısının olmasına bağlıdır. Bu yüzden mukavemet yüksektir. Aksine geniş olan enerji havuzlarında ise, düşük ergime sıcaklığı, yüksek genleşme katsayısı ve düşük elastisite modülü görülür.

5.1.1 Kimyasal Bağ

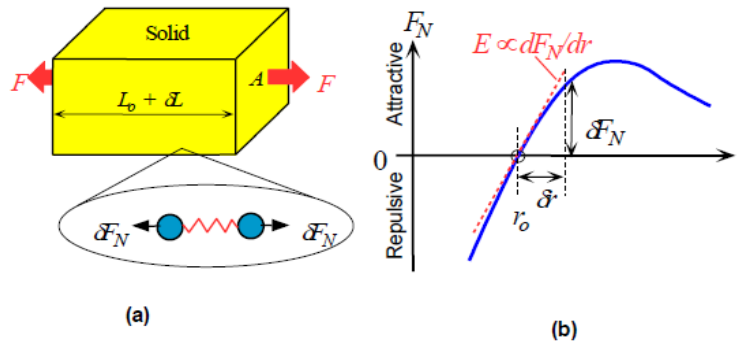
Yeni bir madde oluşturmak için iki veya daha fazla atomun birleşmesiyle kimyasal bağ meydana geldiği görülür. Birincil bağ iki veya daha fazla atom çekirdeğinin elektronlarına yaptıkları çekme kuvvetlerinden (iyonik ; σ , π , Δ kovalent ve metalik bağlar) , ikincil bağ ise (van der waals) moleküller arasında ki etkileşimden meydana gelen bağdır. Minimum seviyede potansiyel enerjinin

oluşması, birincil bağların çekme ve itme kuvvetlerinin birbiriyle aynı olmasına bağlıdır.

5.1.2 Elastisite Modülü

- Elastisite modülü (E) katı bir maddenin esneme alt üst limitlerinin ölçüsüdür.
- Elastisite modülünün fazla olması, ele aldığımız şeklin daha önceden uğradığı deformasyona ulaşabilmesi için daha yüksek bir kuvvet gerekliliğine işaret eder.
- Düzlemsel yüzeyde cisimlere bir F kuvveti uygulandığında $\sigma = \frac{F}{A}$ büyüklüğünde bir gerilme görülür.
- Uygulanan kuvvet ile uzunluğu l_0 olan uzunluk değeri δl olarak değişir. Şekil değiştirme ise $\epsilon = \frac{\delta l}{l_0}$ olur.

Meydana gelen elastik şekil değiştirme ve uygulanan gerilme arasında $\sigma = E \cdot \epsilon$ ilişkisi vardır. Bu elastik şekil değiştirme olarak ifade edilir.



Şekil 5.3. Meydana gelen elastik şekil değiştirme ve uygulanan gerilme ilişkisi

Gerilme neticesinde F kuvvetleri doğrultusunda birbirinden uzaklaşan atomlar, Şekil 5.3 (a)'daki gibi geri yönlendirici kuvvet etkisine girer. δr kadar bir değişme yaşandığı için sistemi ilk haline döndürmeye çalışan kuvvet δF_N 'dir.

$$\frac{\delta F_N}{r_0^2} = \sigma = E \frac{\delta r}{r_0} \quad (5.2) \text{ (Gavgalı vd., 2015).}$$

E, elastisite modül değerinin $r=r_0$ 'daki değişiminin F_N kuvveti ile orantılı veya elastisite modülünün enerjinin r_0 'daki eğriliği ile orantılı olduğu görülür.

$$E = \frac{1}{r_0} \left[\frac{dF_N}{dr} \right]_{r=r_0} = \frac{1}{r_0} \left[\frac{d^2 E_{bağ}}{dr^2} \right]_{r=r_0} \quad (5.3) \text{ (Gavgalı vd., 2015).}$$

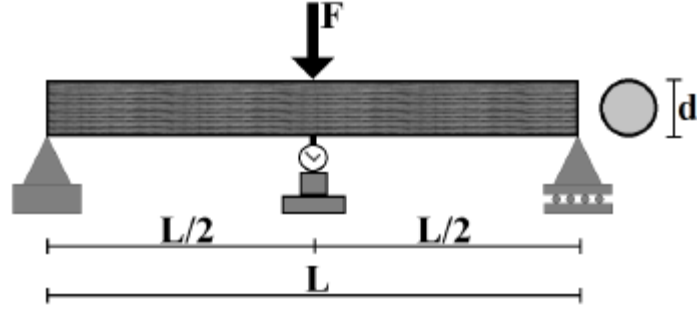
$$E \approx f \frac{E_{bağ}}{r_0^3} \quad (5.4) \text{ (Gavgalı vd., 2015).}$$

Denklem 5.4' de yaklaşık ifadesi ile E değerinin bağ enerji arasındaki yaklaşımları verilmektedir. Bağ enerjisinin büyüklüğü teorik olarak elastisite modülünün büyük olduğu anlamına gelir (Gavgalı vd., 2015).

5.2 Timoshenko Kirişler Yönteminin Yapı Malzemelerinde Kullanımı

Ahşap parçaların ve diğer malzemelerin elastisite modülü, özellikle burulma hareketine maruz kalan kısa kirişler ve parçalar üzerindeki deformasyonlar, üç noktalı statik bükülmeyi kullanarak deneysel parçaların kayma ve boyuna esneklik modülünün hesaplanması çalışması yapılmıştır (Andre vd.,)

Deneylerde kullanılan yapı malzemesi olarak kullanılan ağacın Elastisite modülünün hesaplanması için denklemler geliştirilmiştir ve dikdörtgen kesit için kayma katsayısı 1,20 olarak kabul edilmiştir. Kayma sertliğinin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmak için yürütülen çalışmaya dayanan bu araştırma, üç nokta statik büküm ve Timoshenko kiriş teorisi yardımıyla hesaplanmıştır (Andre vd.,)



Şekil 5.4. Üç noktalı statik bükmenin yapısal modeli(Andre, vd.,)

Timoshenko' ya göre, bükme ve kesme etkisinde olan şekilde meydana gelen yer değiştirme (δ), 5.5' deki denklemden gibi olur.

$$1. \delta = \sum_{i=1}^n \left(\int_{\Omega_i} \frac{M(x) \cdot m(x)}{E \cdot I} dx + \int_{\Omega_i} \frac{f_s \cdot Q(x) \cdot q(x)}{G \cdot A} dx \right) \quad (5.5) \text{ (Andre vd.,)}$$

δ - Doğrusal yer değiştirme.

$M(x)$ - Eğilme momentinin yüke göre değişimi.

$m(x)$ -Yapının bir kısmı için bükülme momentinin, bir birim kuvvetin veya bir noktasında uygulanan momentin kullanımına göre değişimi;

$Q(x)$ - Kayma değişimi;

$q(x)$ -Yapının bir dilimi için kaymanın, ilgili bir noktaya uygulanan birim kuvvet veya momentin konumuna göre değişimi;

f_s - kesitin form faktörü (kesitlerin geometrisine bağlı olarak);

E - boyuna esneklik modülü veya Young modülü;

I - kesitin atalet momenti;

G - esneklik kayma modülü;

A - kesit alanı;

L - kirişin uzunluğu.

Üç noktalı eğilmenin yapısal modeli için uyarlanmış Denklem 5.5 kullanılarak aşağıdaki 5.6' da ki denklem elde edilir (Andre vd.,)

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} + \frac{FLf_s}{4AG} \quad (5.6) \text{ (Andre vd.,)}$$

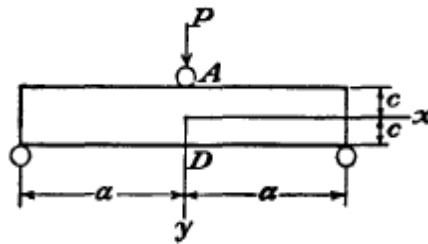


Şekil 5.5. Yuvarlak ahşap parçaların 3 nokta eğme testi görüntüsü (Andre vd.,)

5.3 Timoshenko Kirişler Yöntemi İle Camların Kırılma Mekanizmasının İncelenmesi

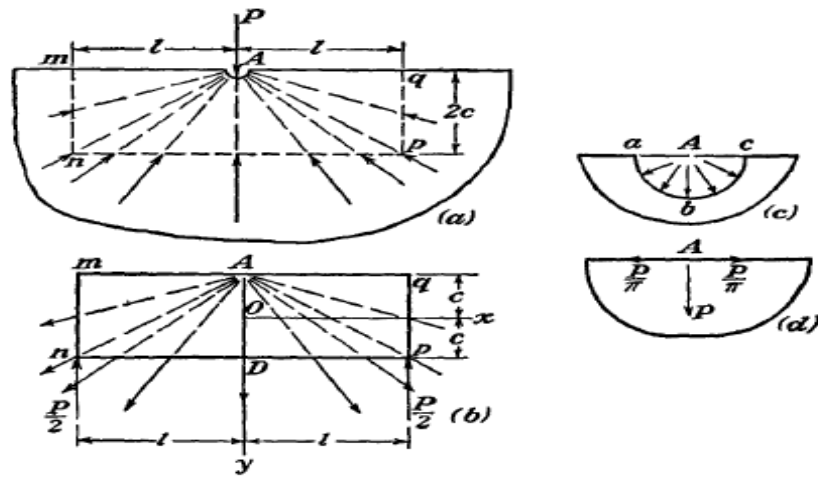
5.3.1 Bir Kiriş Üzerinde Yoğunlaşan Kuvvet

Yoğunlaşmış kuvvete maruz kalan bir kirişteki gerilim dağılımı oldukça önemli bir durumdur. Yoğunlaştırılmış bir kuvvetin uygulama noktasının yakınında, gerilim dağılımında ciddi bir bölgesel tepki meydana gelir (Timoshenko, 1951).



Şekil 5.6. Kiriş üzerine kuvvet uygulaması (Timoshenko, 1951).

Lokal gerilimlere yönelik ilk çalışma Carus Wilson tarafından deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Orta kısmından yüklenmiş iki dayanak üzerindeki dikdörtgen bir cam kirişin, yükün uygulandığı A noktasında, gerilim dağılımının normal bir yoğunlaştırılmış kuvvet tarafından yarı-sonsuz bir plakaya yaklaştığı görülür. En kesit AD boyunca, normal gerilim lineer bir çizgi izlemez ve A noktasının karşısında bulunan D noktasında, çekme geriliminin temel bükme teorisinde olması beklenenden daha küçük değerler aldığı gözlemlenir (Timoshenko, 1951).



Şekil 5.7. Radyal dağılan kuvvet aksiyonları (Timoshenko, 1951).

Bu sonuçlar G. G. Stokes tarafından deneysel varsayımlar temelinde açıklanmıştır. Şekil 5.6' da gösterilen kuvvet, Şekil 5.7 'de gösterilen kuvvet dağılımları gibi ifade edilebilir. (Timoshenko, 1951).

Yarı-sonsuz bir tabakanın mn, np ve pq bölümleri üzerinde etkili radyal basınçlı gerilimler Şekil 5.7 a 'da n ve p'de dayanak olarak bulunan dikdörtgen kirişin kenarları üzerinde etkili olan eş radyal çekme gerilimi Şekil 5.7 b ' de görüldüğü gibi yok olur. Stokes tarafından tartışılan bu durumu anlamak için, bu kirişteki gerilimler yarı-sonsuz tabakadaki gerilimler üzerinde üst üste çakıştırılmalıdır (Timoshenko, 1951).

Kirişteki gerilimleri hesaplamada, temel kiriş formülü uygulanır. Kirişin AD en kesitinin ortasında bulunan bükme momenti, P/2 reaksiyon momenti alınarak ve

kirişin yarısına uygulanan, yarıçapsal olarak yönlendirilen çekme kuvvetlerinin tümü çıkarılarak elde edilir (Timoshenko, 1951).

Yarıçapsal olarak dağıtılan çekme kuvvetlerinin, istatistiksel olarak A noktasındaki abc silindir yüzeyin ab kadranı üzerindeki gerilim dağılımına eşit olduğunu gözlemlersek ya da dikey kuvvetin P / π ve yatay kuvvetine $P/2$ (Şekil 5.7 d ' de A noktasında uygulanan) eşit olduğunu gözlemlersek bu sonraki moment kolaylıkla hesaplanır. Sonrasında, momentin 0 noktası olduğu bükme dakikasının karşılığı aşağıdaki formüldür: (Timoshenko, 1951).

$$\frac{P}{2}l - \frac{P}{\pi}c \quad (5.7) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Ve ilgili bükme gerilimleri:

$$\sigma'_x = \frac{P}{I} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{\pi} \right) y = \frac{3P}{2c^3} \left(\frac{1}{2} - \frac{c}{\pi} \right) y \quad (5.8) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Bu bükme gerilimlerine, çekme kuvveti P/π tarafından üretilen tek tip olarak dağıtılmış çekme gerilimi $P/2\pi c$ eklenmelidir. Böylece AD en kesiti üzerindeki normal gerilimler ise 5.9' da görülen formüldeki gibi karşımıza çıkar.

$$\sigma_x = \frac{3P}{2c^3} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{\pi} \right) y + \frac{P}{2\pi c} \quad (5.9) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Sürekli dağıtılan bir yükün kirişin en altına uygulandığı gözlemlenirse daha iyi bir yaklaşım elde edilir. D noktasındaki bu yükün yoğunluğu $P/\pi c$ şeklindedir.

2. bir yaklaşım olarak;

$$\sigma_x = \frac{3P}{2c^3} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{\pi} \right) y + \frac{P}{2\pi c} + \frac{P}{\pi c} \left(\frac{y^3}{2c^3} - \frac{3}{10} \frac{y}{c} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{P}{2\pi c} + \frac{P}{\pi c} \left(\frac{3y}{4c} - \frac{y^3}{4c^3} \right)$$

(5.10) (Timoshenko, 1951).

Denklemleri elde edilir. Bu gerilimler, aşağıdaki değerler üzerinde üst üste konulmalıdır.

$$\sigma_x=0, \quad \sigma_y = -\frac{2P}{\pi(c+y)} \quad (5.11) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Bu noktada basit kiriş formülünün düzeltilmesi şu şekilde verilmiştir:

$$-\frac{3P}{2\pi c} + \frac{P}{2\pi c} + \frac{1}{5} \frac{P}{\pi c} = -0.254 \frac{P}{c} \quad (5.12) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Ancak daha doğru çözüm ancak $-0.133 \left(\frac{P}{c} \right)$ şeklinde bulunur.

Trigonometrik dizi aracılığıyla sorunun çözümü L. N. G. Filon tarafından elde edilmiştir. Filon bu çözümü yoğunlaştırılmış yüklere uygulamış ve daha güncel araştırmalar ile oldukça uyumlu olan pek çok özel vakalar için hesaplamalar yapmıştır (Timoshenko, 1951).

Eğim derecesindeki bu etkiye dayanarak, sapma AB ve AC' nin iki kolu aşağıdaki formül deki gibi olur (Timoshenko, 1951).

$$\gamma = \frac{P}{c} \left(\frac{3}{4G} - \frac{3}{10E} - \frac{3v}{4E} \right) \quad (5.13) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Ortadaki ikili sapma;

$$\delta_1 = \frac{\gamma l}{4} = \frac{Pl}{4c} \left(\frac{3}{4G} - \frac{3}{10E} - \frac{3v}{4E} \right) \quad (5.14) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Bu saptanmış küçük bir düzeltme δ_2 , A noktasında görülen eğimdeki değişkenliğin giderilmesi çıkarılmalıdır. Bu miktar da ayrıca Seewald tarafından hesaplanmış olup aşağıdaki formüle eşittir (Timoshenko, 1951).

$$\delta_2 = 0.21 \frac{P}{E} \quad (5.15) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Şimdi S_0 ile ifade edilen, temel teori kullanılarak hesaplanan yük altındaki sapma toplamda 5.16' daki gibi ifade edilir.

$$\delta = \delta_0 + \delta_1 - \delta_2 = \frac{Pl^2}{48EI} + \frac{Pl}{4c} \left(\frac{3}{4G} - \frac{3}{10E} - \frac{3\gamma}{4E} \right) - 0.21 \frac{P}{E} \quad (5.16) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Grafiklerden, $\gamma = 0.3$ alınırsa aşağıdaki formülü vermektedir.

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} \left[1 + 2.85 \left(\frac{2c}{l} \right)^2 - 0.84 \left(\frac{2c}{l} \right)^3 \right] \quad (5.17) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Temel Rankine-Grashof teorisi bu uygulama için aşağıdaki formülü vermektedir;

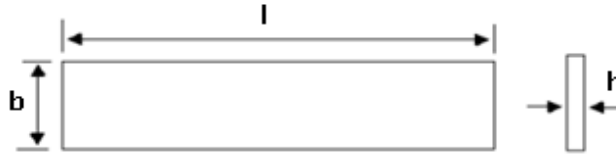
$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} \left[1 + 3.90 \left(\frac{2c}{l} \right)^2 \right] \quad (5.18) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Deneyin Amacı

Bu çalışmada beyaz eşya (Buzdolabı, fırın) sektöründe kullanılan farklı türdeki cam çeşitlerinin, temperli ve tempersiz olarak oluşlarına göre, 3 nokta eğme deneyi ile yapmış olduğumuz deneylerde elastisite modüllerinde değişkenlik olup olmadığını inceleyeceğiz.

6.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler



Şekil 6.1. Deney Test Numunesi

Tablo 6.1. Üç nokta eğme test numuneleri ölçüleri

l - Uzunluk , mm	335
b - Genişlik , mm	125
h - Kalınlık , mm	4

335 mm x 125 mm x 4mm boyutlarda farklı ebat ve türdeki cam malzemeler hazırlanmış ve ELISTA marka elektromekanik yüklemeli, bilgisayar kontrollü EMB 400-400 kN model çekme cihazında testler gerçekleştirilmiştir (Tablo 6.4).



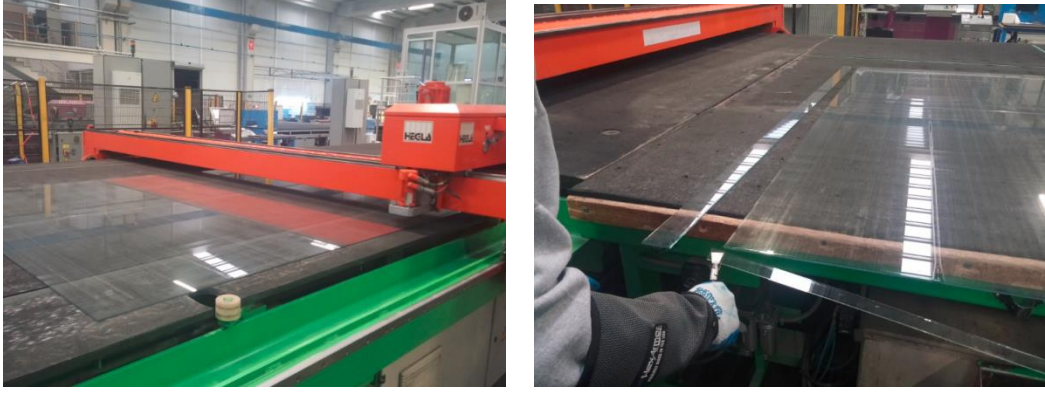
Şekil 6.2. ELISTA Marka EMB 400-400 kN Model Çekme Cihazının Görüntüsü

Çekme deneyinde cihazımız, ön yükleme kuvveti olarak 1 N, ön yükleme hızı olarak 2 mm/ dk alınmıştır. 20 N ‘ a kadar 2 mm/dk, 20 ile 40 N arasında 1 mm / dk, 40 N’ dan büyük kuvvetler için 1 mm/dk ‘ dan daha küçük hızlara göre veri alacak şekilde ayarlanmıştır.

6.3 Deneyin Aşamaları

1. Aşama :

Float , Löw-e, Optwhite, Borasilikat kaplamalı Camlar 320 mm x 150 mm x 4 mm ebatlarında her bir cam cinsinden 10 adet olmak üzere kesme işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.3. Kesim prosesine ait görüntüler

2. Aşama :

Gruplara ayrılmış camların bir kısmına sadece Rodaj ve Rodaj – Temper (620-700) °C işlemleri yapılmıştır.



Şekil 6.4. Rodaj ve temper prosesine ait görüntüler

3. Aşama :

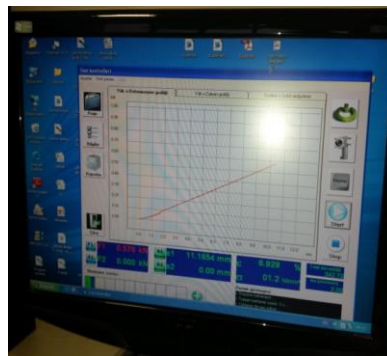
Camlara temperli ve temperli olmayan üzere 2. bir gruplama yapılarak, temperli camların sivri kısımlarından patlama olmaması için ambalajlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.5. Deney numunelerinin paketlenmesi ve gruplanması

4.Aşama :

Farklı cam türlerine ayrılmış olan (Temperli, tempersiz, farklı cins) 39 adet cam 3 nokta kırılma testine tabi tutularak, camların kırıldıkları ana kadar olan süreçteki sehim değerleri ve uygulanan kuvvetler cihazın veri tabanından alınarak excel formatına kaydedilmiştir.



Yük (kN)	Deformas	Süre (s)
0,104	2,018	62,27
0,104	2,018	62,52
0,104	2,018	63,09
0,104	2,018	63,09
0,104	2,018	63,34
0,104	2,018	63,69
0,104	2,018	63,94
0,104	2,019	64,53
0,104	2,019	64,8
0,104	2,019	65,05
0,104	2,019	65,38
0,104	2,02	65,64
0,104	2,02	65,97
0,104	2,021	66,22
0,104	2,021	66,81
0,104	2,021	67,06

Şekil 6.6. Deneysel çalışma esnasında numunenin cihaza bağlanması verilerin alınması ve elde edilen verilere ait tabloların oluşturulmasına ait görüntüler.

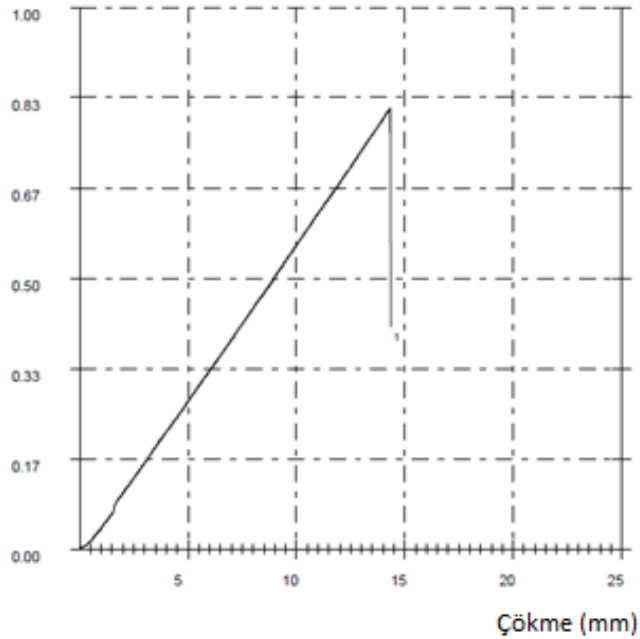
Eğme deneyinde örnek bir cama ait veriler ;

Örnek: 335 mm x 125 mm x 4 mm ebatlarında örnek olacak bir Löw-e kaplamalı (620 °C -680 °C) aralığında temperlenmiş bir cam üzerinde yapılan eğme deneyinde, cihazdan aldığımız, cam üzerine uygulanan Yük (kN) , Deformasyon miktarı ve süre (sn) değerleri aşağıda ki çizelgede verilmiştir.

Tablo 6.2. Örnek deneye ait yük, deformasyon ve süre değerleri

Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)
0,104	2,01	70,5
0,159	3,006	91,63
0,217	3,993	133,91
0,273	5,012	150,75
0,329	5,999	197,23
0,387	6,995	216,59
0,445	8,009	232,94
0,502	9,006	287,95
0,561	9,988	304,73
0,619	10,99	320,92
0,676	12,006	381,48
0,734	12,988	399,52

Yük (kN)



Şekil 6.7. Örnek deneye ait yük-uzama grafiği

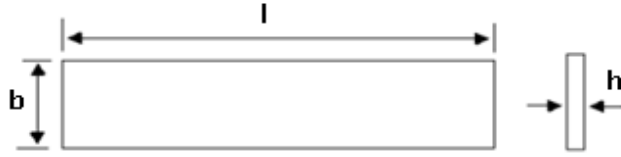
Cam yapısı itibariyle kuvvet uygulandığında, kuvvet ve uzama grafiklerinde düzgün dağılım gösterir. Bunu yapmış olduğumuz çalışmada görmekteyiz. Deney numunesi 2 mm – 13 mm Sehim değerlerinde düzgün dağılım göstererek 13 mm esnedikten sonra gevrek olarak kırılmıştır.

5.Aşama :

Kırılma anına kadar elde edilen kuvvet ve sehim değerlerinden elde edilen veriler kullanılarak her bir deneysel camın Elastisite Modülü, Denklem (6.1)' de ki gibi hesaplanır.

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} \left[1 + 2.85\left(\frac{2c}{l}\right)^2 - 0.84\left(\frac{2c}{l}\right)^3 \right] \quad (6.1) \text{ (Timoshenko,1951).}$$

Tüm Cam Ebatları;



Şekil 6.8. Örnek numune cama ait ölçü değerleri

Tablo 6.3. Örnek numuneye ait ölçüm değerleri

l - Uzunluk , mm	335
b - Genişlik , mm	125
h - Kalınlık , mm	4

$$\text{Atalet Momenti (I)} = \frac{bh^3}{12}$$

$$\text{Atalet Momenti (I)} = 666,6 \text{ mm}^4$$

Tablo 6.4. Farklı cam türlerine göre elastisite modülü hesabı

LÖW-E KAPLAMALI CAM, TEMPERLİ (620 °C - 680 °C)			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,104	2,01	70,5	60828,42
0,159	3,006	91,63	62183,83
0,217	3,993	133,91	63889,53
0,273	5,012	150,75	64035,51
0,329	5,999	197,23	64474,25
0,387	6,995	216,59	65041,8
0,445	8,009	232,94	65320,73
0,502	9,006	287,95	65530,13
0,561	9,988	304,73	66031,87
0,619	10,99	320,92	66215,89
0,676	12,006	381,48	66193,85
0,734	12,988	399,52	66439

LÖW-E KAPLAMALI CAM, TEMPERSİZ			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,115	2,006	71,5	67396,32
0,174	3,005	88,33	68072,87
0,232	4,007	131,08	68057,21

DÜZ CAM, TEMPERLİ (620 °C - 680 °C)			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,098	2,008	203,83	57376,18
0,158	3,005	262,72	61813,3
0,214	3,999	325	62911,73
0,272	5,006	390,97	63877,42
0,33	6	458,38	64659,45
0,389	7,003	492,77	65303,24
0,448	7,995	563,52	65876,24
0,507	9,001	638,94	66219,59
0,564	10,001	671,61	66298,69
0,624	11,005	750,42	66659,77
0,683	12,004	822,2	66890,43
0,742	13,001	864,38	67095,97

DÜZ CAM , TEMPERSİZ			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,1	1,93	123,33	60913,28
0,161	2,973	129	63664,93
0,225	3,999	136,44	66145,51
0,283	4,992	216,94	66647,08
0,315	5,882	312,36	66650,15

BORASİLİKAT CAM , TEMPERLİ (620 °C - 680 °C)			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,101	1,988	78,72	59727,49
0,159	3,003	96,11	62245,95
0,219	3,999	137,72	64381,63
0,277	4,999	154,05	65142,72
0,335	5,995	202,84	65693,88
0,392	7,005	217,98	65788,08
0,452	7,998	269,63	66439,49
0,511	9,013	290,44	66653,17
0,57	10,002	305,78	66997,3
0,63	11,002	361,92	67319,08

BORASİLİKAT CAM , TEMPERSİZ			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,115	2,001	58,3	67564,73
0,172	2,999	94,16	67425,05
0,229	4,002	135,88	67270,97
0,287	4,993	153,31	67575,55
0,347	6,001	197,27	67979,06
0,404	7,006	220,11	67792,32

OPTWHITE CAM , TEMPERLİ (620 °C - 680 °C)			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,115	2,008	70,78	67329,19
0,171	3,017	87,81	66633,11
0,225	3,994	130,16	66228,32
0,281	4,992	145,53	66176,08
0,337	5,996	194,13	66075,06
0,394	7,014	210,41	66038,89
0,45	8	248,73	66128,98
0,507	9,016	282,34	66109,42
0,563	10	297,42	66187,76
0,621	11,001	340,05	66363,41
0,678	12,02	375,88	66312,36
0,734	13,002	391,55	66367,46

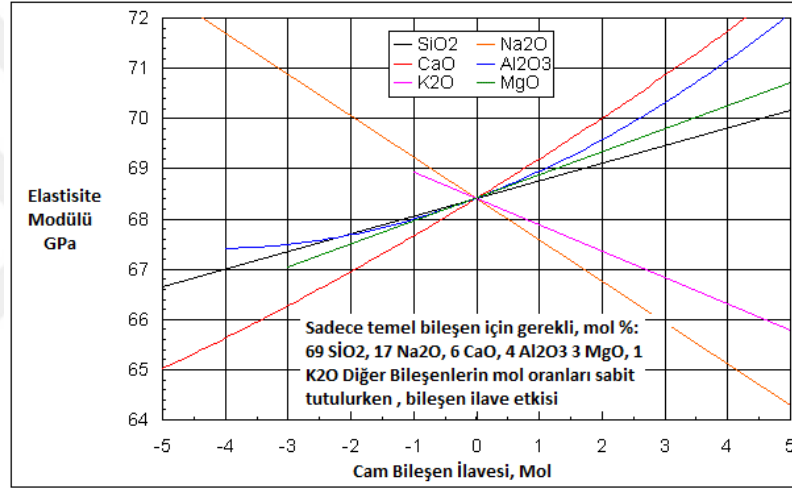
OPTWHITE CAM, TEMPERSİZ			
Yük (kN)	Deformasyon (mm)	Süre (s)	Elastisite Modülü (MPa)
0,118	2,013	60,52	68573,36
0,167	3,002	96,64	68359,88
0,216	3,991	132,4	68146,66
0,265	4,98	168,3	67932,56
0,314	5,96	205,32	67719,32

Not: Cam türlerine göre sınıflandırılmış her bir deney gurubundaki veriler, deney esnasında cihazdan alınan en optimal verilerdir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kuvvet altında elastik şekil değiştirmenin ölçüsü olan elastisite modülü, malzemenin birim kesit alanında (genelde 1 mm²) birim uzunluğu bir kat arttırmak için gerekli olan kuvvet olarak ifade edilir. Elastisite modülü malzeme yapısına göre değişiklik gösteren bir özelliktir. Farklı içerikteki bileşenlere sahip camların elastisite modüllerinin de farklı olması beklenir. Şekil 7.1 (Barr, 2005).



Şekil 7.1. Farklı yapısal bileşenlere sahip camların elastisite modüllerinde ki farklılıklar (Barr, 2005).

Farklı özellikteki camların, yapılan 3 nokta eğme testi ve test sonucunda cihazdan verilerin alınmasıyla sayısal veri olarak kullandığımız yük (kN), deformasyon (mm) ve süre (s) değerleri elde edilmiştir.

DeneySEL çalışma sonunda, Rankine-Grashof teorisi sonucu elde edilen Timoshenko denklemi kullanılmıştır. Deneylerde kırılma noktasına göre düzenli aralıklarla uygulanan kuvvet ve sehim değerleri Timoshenko ' da yerine koyularak E değeri çekilmiş ve elastisite modülü hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} \left[1 + 2.85\left(\frac{2c}{l}\right)^2 - 0.84\left(\frac{2c}{l}\right)^3 \right] \quad (7.1) \text{ (Timoshenko, 1951).}$$

Yapılan deneylerde bazı numuneler elimine edilmiştir. Çünkü iç dislokasyonlar nedeniyle ani olarak kırılmalar yaşandığı için tutarlı sonuçlar vermemiştir.

Çok küçük sehimlerde ve basınçlarda kırılan camlar hariç, elastisite modüllerinde cam türleri arasında kayda değer bir değişim yaşanmamıştır. Kırılma yaşanmadan önce uygulanan kuvvet neticesinde camların yapmış olduğu aynı sehimlerde Elastisite modülleri 60-65 MPa arasında kalmıştır.

Teorik olarak bunu şu şekilde açıklayabiliriz:

Sektörel olarak Beyaz eşyada kullanılan Düz camlarda, kullanım alanına göre mutfaklarda kullanılan Düz cam, Optwhite, Löw-e camların sadece renksel farklılık yaratmak ve ısı yalıtımı sağlamak amacıyla farklı karakteristik özellik kazandırılmaktadır.

Deney numunesi olarak kullandığımız bu camlarda iç yapısal özellikleri farklı olmadığı için sonuç olarak elastisite modüllerinin aynı kaldığı Timoshenko ve yaptığımız kırılma testinde kanıtlanmıştır.

İleriki aşamalarda farklı kalınlıklarda hazırlanmış camların ve lamine (tabaka) kaplanmış camların temperlenme işlemi sonucunda elastisiteye etkisi olup olmadığı incelenebilir. Ayrıca deneylerde kullandığımız temperli, tempersiz camların impact (darbe) davranışları, darbe testleri ile incelenerek enerji absorbe edebilme özellikleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.

8. KAYNAKLAR

- Afyon Kocatepe Üniversitesi, Cam ve Cam Malzemeler, http://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/cam.htm, 28 Haziran 2015.
- Altinkaya T, Özgen A “Camın Yapısal Kullanımının Tarihsel Gelişimi, Güncel Olanaklar ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi”.
- Andre L, Christoforo, Felipe H (2013) “ Shear and Longitudinal Modulus of Elasticity in Structural Profiled Round Timber Beams “ International Journal of Materials Engineering, 3(4): 87-91.
- Barr J (2005) “ The Glass Tempering Handbook, Understanding The Glass Tempering Process “ By Jonathan Barr, USA.
- BMTRADA, Temperli Cam Testleri, <http://www.bmtrada.com.tr/Temperli-Camlar.asp>, 28 Haziran 2015.
- Canikoğlu N (2015) “Seramik Malzemelerin Yapısal Özellikleri” , Yapısal Seramik Malzeme Teknolojisi-3.
- Compagno A (2002) “ Intelligent Glass Facades, Birkhauser Publishers “Basel.
- Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Camlar, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf, 04 Ekim 2015.
- Eşsiz Ö (2004) “Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler”, 1. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, Çatıder,- İstanbul, 73-82.
- Gavgalı M, Alsarın A, Dikici B (2012) “Malzeme Bilimi” <http://www.ademkaraca.com/wp-content/uploads/2012/10/Malzeme-Bilimi-Notlar1.pdf>.
- http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/13._Camlar.pdf .
- Jones G.O (1971) “Glass, Second Edition, Chapman and Hall Ltd. and, Science, Paperbacks “ London.
- Kantur U, (2009) “Kurşun Geçirmez Cam Üretim Sürecinin İncelenmesi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kocabağ D, (2002) “Cam Kimyası, Özellikleri” İstanbul: Birsen Yayınevi.

- Köselerden, Cam üretim yöntemleri, www.koselerden.com.tr, 20.12.2015.
- Lloyd R (2015) "Scientists Reveal Why Glass is Glass", msnbc, Çev. Esra Demirpehlivan, yaklasansaat.com.
- Mağgönül G (1993) "İşlenmiş Camlar, Sempozyum Bildirileri, Yapıda Temelden Çatıya Cam ve Cam Kökenli Malzeme Türleri ve Uygulama Örnekleri" YEM
- MEGEP (2008) Seramik ve Cam Teknolojisi Camın Kimyasal Yapısı, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Mills H.N (1975) "Glass Raw Materials, Industrial Minerals and Rocks" New York, s. 327-334.
- Nazik M (2004) "Camın Temperlenmesinde Isıtma ve Soğutma Sürecinin Sayısal Modellenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ortakçı Cam (2015) Camın Tarihçesi, www.ortakcicam.com.tr/tr/camintarihcesi.
- Özdemir A, (2006) "Seramik Malzemelerin Kırılma Tokluğu Değerlerinin Üç Boyutlu ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Teorik Olarak Belirlenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özdemir Ö (2018) "Mekanik Özellikler ve Davranışlar, Malzeme Bilimi Ders Notları.
- Pamuk G, Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Yapı malzemesi ders notları.
- Rawson H (1980) "Properties and Applications of Glass, First Edition, Elsevier, Amsterdam" Oxford, New York.
- Ritche I (1998) "Constructing with Glass" Stahlbau no:4, Germany.
- S.P. Timoshenko, J.N. Goodier (1951) "Theory of Elasticity".
- Saraç Y (1991) "Güneş ve Isı Kontrol Camları" İnşaat.
- Sarıkaya Y (1988) A. Ü. Fen Fak., Fizikokimya ve Uygulamaları, İstanbul.
- Sev A ve Özgen A (2003) "New Technological Developments and Applications of Glass in Tall Buildings", Tall Building and Transparency Conference, Institute for Lightweight Structures & Conceptual Design, Stuttgart, CDROM.
- Taşören N, Bostancı S, Özcan G, Ataş S, Ünver R, Yıldız A, Başyigit D (2015) "Camın kimyasal özellikleri", "Polimerler camlar ve seramikler" abs.mehmetakif.edu.tr/upload/d007_322_dosya.ppt.
- TOBB, (2012) Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclis Sektör Raporu, Yayın

sıra no : 2013/203., Ankara.

Tosun K (2018) Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı .

Toydemir N (1990) ‘‘Cam Yapı Malzemeleri ‘‘ Sakarya Gazetecilik ve Matbaacılık Tic. A.Ş., Eskişehir, 1990.

Türkseven İ, (1999) ‘‘Mimarlıkta Camın Tarihsel Gelişim Serüveni’’ Ege Mimarlık, sa:29, s. 18-21., İzmir.

Tütünoğlu Y, Güven A, Öztürk İ.T (2011) ‘‘Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi’’ Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.

Ungan Ş, (2015) ‘‘Temper El Kitabı’’ Cam Merkezi San. Tic. A. Ş. Yayınları, Kocaeli.

Uzm. Ekti E, (2013) ‘‘Düzce Cam Sektörü Raporu’’, Sektörel Raporlar Serisi III, 16.12.2013, Düzce.

Wikipedia, Cam, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Cam>, 28 Haziran 2015.

Yazar T, Aslan A (2013) ‘‘Biçimlerin Temel İlkeleri Bağlamında Simge Olarak Geleneksel Türk Cam Sanatı ve Gelişimi’’, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

Yeang K (1996) ‘‘The Skyscraper, Bioclimatically Considered ‘‘ Academy Editions, London.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nevzat ERTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu, 26.03.1986

Lisans Üniversite : Sakarya Üniversitesi

Elektronik posta : nvzt_erturk14@hotmail.com

İletişim Adresi : Teknomil Makine Metal Parça Sanayi

Yayın Listesi :

Ödüller :